БІЯЛОГІЯ

Падручнік для 10 класа
ўстаноў агульнай сярэдняй адукацыі
з беларускай мовай навучання

Пад рэдакцыяй М. Д. Лісава

3-е выданне, перапрацаванае

Зацверджана
Міністэрствам адукацыі
Рэспублікі Беларусь

Мінск «Народная асвета» 2014

УДК 57(075.3=161.3)
ББК 28.Оя 721
Б67

А ў т а р ы:
М. Д. Лісаў, У. У. Шэвярдоў, Р. Р. Ганчарэнка, М. Л. Дашкоў

Пераклад з рускай мовы
В. К. Раманцэвіч

Р э ц э н з е н т ы:
кафедра біялогіі ўстановы адукацыі
«Беларускі дзяржаўны медыцынскі ўніверсітэт»
(кандыдат біялагічных навук, дацэнт *У. В. Давыдаў*);
настаўнік біялогіі вышэйшай катэгорыі, настаўнік-метадыст
дзяржаўнай установы адукацыі «Гімназія № 8 г. Мінска»
В. М. Лагунова

Б67 **Біялогія** : падруч. для 10-га кл. устаноў агул. сярэд. адукацыі з беларус. мовай навучання / М. Д. Лісаў [і інш.] ; пад рэд. М. Д. Лісава. ; пер. з рус. мовы В. К. Раманцэвіч. — 3-е выд., перапрац. — Мінск: Народная асвета, 2014. — 270 с. : іл.
ISBN 978-985-03-2169-5.

Першае выданне выйшла ў 2006 годзе. Аўтары М. Д. Лісаў, Л. В. Камлюк, М. А. Лемяза.

УДК 57(075.3=161.3)
ББК 28.Оя 721

ISBN 978-985-03-2169-5

Ад аўтараў

Дарагія сябры!

У гэтым навучальным годзе вы працягнеце вывучэнне жывой прыроды. Вы ўжо многае ведаеце аб бактэрыях, пратыстах, грыбах, раслінах і жывёлах, аб асаблівасцях іх будовы і функцыянавання, месцах знаходжання, прыстасаваннях да ўмоў навакольнага асяроддзя, значэнні ў прыродзе і жыцці чалавека. Вы таксама маеце ўяўленне аб тым, што ўсе пералічаныя групы жывых арганізмаў характарызуюцца вялікай колькасцю відаў і разнастайнасцю форм.

Разнастайнасць жыцця на Зямлі ўражвае. Жывыя арганізмы можна сустрэць усюды: ад гарачых вод у жаролах глыбакаводных вулканаў да вечна пакрытых ледзяным панцырам горных вяршынь.

Жывыя арганізмы часам настолькі непадобныя адзін на аднаго, што паміж імі цяжка знайсці агульныя рысы і ўласцівасці. Параўнайце, напрыклад, хвойную расліну *елку звычайную*, шапачкавы грыб *падасінавік* і *чалавека*. Тым не менш, у розных арганізмаў можна выявіць шмат агульнага — асобыя прыметы і ўласцівасці, характэрныя ўсяму жывому, агульныя заканамернасці арганізацыі, жыццядзейнасці, размнажэння і развіцця.

Вывучэннем агульных уласцівасцей жывых арганізмаў вы і будзеце займацца на працягу гэтага навучальнага года. Вы пазнаёміцеся з клеткай як найменшай структурнай і функцыянальнай адзінкай усіх жывых арганізмаў, з хімічным саставам арганізмаў, іх абменам рэчываў, размнажэннем і індывідуальным развіццём, спадчыннасцю і зменлівасцю. Вы даведаецеся пра значэнне розных хімічных рэчываў у існаванні жывых арганізмаў, пра тое, як з адзінай клеткі — зіготы — развіваецца складаны мнагаклетачны арганізм, як захоўваецца і перадаецца з пакалення ў пакаленне спадчынная інфармацыя. Вы зможаце даведацца пра прычыны спадчынных захворванняў чалавека і пра тое, якія перспектыўныя метады іх лячэння знаходзяць прымяненне ў сучаснай медыцыне, як і для чаго ствараюцца генетычна мадыфікаваныя арганізмы і многае іншае.

Матэрыял падручніка ўключае 53 параграфы, злучаныя ў 7 глаў. Акрамя асноўнага матэрыялу, у параграфах ёсць дадатковая інфармацыя, якая набрана больш дробным шрыфтам і адзначана дзвюма зялёнымі вертыкальнымі лініямі. Дадатковы матэрыял пашырае, паглыбляе або канкрэтызуе веды па тым ці іншым пытанні, а таксама змяшчае цікавыя біялагічныя факты.

Важнейшыя тэрміны і паняцці выдзелены тоўстым шрыфтам, назвы жывых арганізмаў, якія сустракаюцца ў падручніку, адзначаны курсівам.

Малюнкі, схемы і фатаграфіі дапамогуць вам наглядна ўявіць структуры клетак і арганізмаў, разабрацца ў характэрных для іх заканамернасцях.

У падручніку вы знойдзеце партрэты і кароткія біяграфічныя звесткі пра вучоных, якія ўнеслі значны ўклад у развіццё біялогіі. Азнаямленне з гэтай інфармацыяй будзе садзейнічаць пашырэнню вашага кругагляду і паглыбленню ведаў у галіне гісторыі біялогіі.

Пасля кожнага параграфа прапануюцца пытанні і заданні, якія абазначаны ?. Яны дапамогуць вам замацаваць атрыманыя веды, а таксама ацаніць ступень засваення матэрыялу.

У канцы падручніка вам прапануюцца прыклады рашэння задач па розным тэмам. Тут вы таксама знойдзеце слоўнік асноўных тэрмінаў і паняццяў. Ён дапаможа вам глыбей зразумець сэнс вывучаемага матэрыялу.

У кнізе ёсць прадметны паказальнік, з дапамогай якога вы зможаце хутка знайсці неабходную інфармацыю. Іменны паказальнік падкажа, у якім месцы падручніка сустракаецца патрэбнае вам прозвішча вучонага або яго адкрыццё.

Памятайце! Набытыя веды спатрэбяцца вам не толькі для паспяховага вывучэння біялогіі. Яны дазволяць вам зрабіць свядомы выбар прафесіі, будуць карыснымі ў будучай працоўнай дзейнасці і ў паўсядзённым жыцці.

Жадаем поспехаў!

Уводзіны

Жывыя арганізмы з'явіліся на Зямлі прыкладна 3,5 мільярдаў гадоў таму. У цяперашні час іх нашчадкі дасягнулі вялікай шматлікасці і разнастайнасці. Колькасць відаў жывых арганізмаў складае некалькі мільёнаў. Сярод іх найдрабнейшыя бактэрыі велічынёй каля 0,25 мкм і вялікія расліны, якія дасягаюць у вышыню некалькі дзясяткаў метраў, — *эўкаліпты* і *секвоі*. Жывыя арганізмы адрозніваюцца адзін ад другога па многіх прыметах: па знешнім выглядзе, унутранай будове, распаўсюджанні ў прыродзе, месцах пражывання, спосабах жыўлення. Ёсць арганізмы, якія ўсё жыццё праводзяць на адным месцы, а другія актыўна перамяшчаюцца. Нягледзячы на такую разнастайнасць, усе жывыя арганізмы маюць агульныя рысы, якія адрозніваюць іх ад аб'ектаў нежывой прыроды. Такімі спецыфічнымі прыметамі з'яўляюцца наступныя.

1. Адзінства хімічнага саставу. Жывыя арганізмы ўтвораны рэчывамі, у састаў якіх уваходзяць атамы тых жа хімічных элементаў, з якіх складаюцца аб'екты нежывой прыроды. Аднак суадносіны гэтых элементаў у жывым і нежывым неаднолькавыя. Больш чым 98 % масы жывых арганізмаў складаюць чатыры элементы: кісларод, вуглярод, вадарод і азот. Астатнія 2 % — гэта кальцый, фосфар, калій, сера, хлор, натрый, магній, жалеза і некаторыя іншыя элементы. У адрозненне ад жывых арганізмаў, састаў кампанентаў нежывой прыроды розны. Напрыклад, у воднай абалонцы Зямлі (гідрасферы) пераважаюць вадарод і кісларод, у газападобнай (атмасферы) — азот і кісларод, у цвёрдай (літасферы) — кісларод і крэмній. Акрамя таго, у састаў жывых арганізмаў уваходзяць чатыры групы арганічных рэчываў (бялкі, ліпіды, вугляводы і нуклеінавыя кіслоты), якія ў нежывой прыродзе не сустракаюцца.

2. Клетачная будова. Жывыя арганізмы адрозніваюцца высокаўпарадкаванай будовай. Структурнай і функцыянальнай адзінкай жывых арганізмаў з'яўляецца клетка. Па-за клеткай жыцця няма.

3. Абмен рэчываў і энергіі. Абмен рэчываў паміж жывымі арганізмамі і знешнім асяроддзем з'яўляецца абавязковай умовай існавання, у той час як целы нежывой прыроды ён прыводзіць да разбурэння і ператварэння ў іншыя целы. Жывыя арганізмы здабываюць, пераўтвараюць і выкарыстоўваюць рэчывы і энергію з навакольнага асяроддзя і вяртаюць у яе прадукты распаду і пераўтвораную энергію, напрыклад, у выглядзе цяпла.

Арганізмы спажываюць рэчывы з навакольнага асяроддзя ў ходзе **жыўлення**. Пажыўныя рэчывы патрэбны ўсім жывым арганізмам. Яны выкарыстоўваюць іх як крыніцу энергіі і рэчываў, неабходных для росту, размнажэння і іншых працэсаў жыццядзейнасці.

Арганізмы розных груп адрозніваюцца па спосабу атрымання пажыўных рэчываў. Амаль усе расліны здольны да **фотасінтэзу**, г. зн. яны самі ствараюць арганічныя рэчывы з неарганічных, выкарыстоўваючы энергію святла. Фотасінтэз — адна з форм аўтатрофнага жыўлення. Жывёлы і грыбы жывяцца інакш: яны выкарыстоўваюць арганічныя рэчывы другіх арганізмаў, расшчапляюць іх з дапамогай ферментаў і засвойваюць прадукты расшчаплення. Такое жыўленне называюць гетэратрофным. Гетэратрофамі з’яўляюцца таксама многія бактэрыі і пратысты, хоць сярод іх ёсць і аўтатрофы.

Для ўсіх працэсаў жыццядзейнасці патрэбна энергія. Таму значная частка пажыўных рэчываў, якія атрымліваюцца ў выніку аўтатрофнага або гетэратрофнага жыўлення, выкарыстоўваецца ў якасці крыніцы энергіі. Энергія вызваляецца ў працэсе **дыхання** пры расшчапленні арганічных злучэнняў. Вызваленая энергія назапашваецца ў малекулах **адэназінтрыфосфарнай кіслаты (АТФ)**, якая выяўлена ва ўсіх жывых клетках.

Жывыя арганізмы выводзяць з арганізма канечныя прадукты абмену рэчываў, лішак вады, солей і некаторыя іншыя рэчывы, якія ўтвараюцца ў працэсе жыццядзейнасці або паступаюць пры жыўленні. Працэс вывядзення гэтых рэчываў называецца **выдзяленнем** або **экскрэцыяй**. Выдзяленню належыць важная роля ў падтрыманні пастаянства ўнутранага асяроддзя арганізма.

Такім чынам, для жывых арганізмаў характэрны **абмен рэчываў** з навакольным асяроддзем і **энергазалежнасць**.

4. Самарэгуляцыя. Жывыя арганізмы, якія знаходзяцца ў пастаянна зменлівых умовах навакольнага асяроддзя, валодаюць здольнасцю падтрымліваць пастаянства свайго хімічнага саставу і інтэнсіўнасць працякання фізіялагічных працэсаў. Гэта ўласцівасць называецца **самарэгуляцыяй**. Напрыклад, у многіх жывёл на пастаянным узроўні падтрымліваецца канцэнтрацыя іонаў вадароду, наяўнасць глюкозы ва ўнутраным асяроддзі арганізма, крывяны ціск і многія іншыя параметры, што дасягаецца дзякуючы дзейнасці рэгуляторных сістэм арганізма — нервовай і эндакрыннай.

5. Рухомасць. Жывёлы адрозніваюцца ад раслін здольнасцю перамяшчацца з аднаго месца ў другое, г. зн. **здольнасцю да перамяшчэння**. Жывёлам неабходна рухацца, каб здабываць корм, хавацца ад ворагаў і непагоды. З рознымі спосабамі руху жывёл вы падрабязна знаёміліся пры вывучэнні біялогіі ў 8-м класе. Могуць перамяшчацца таксама некаторыя бактэрыі і пратысты. Расліны вядуць прымацаваны спосаб жыцця, паколькі яны здольны самі ствараць пажыўныя рэчывы шляхам фотасінтэзу. Але і ў раслін можна назіраць разнастайныя рухі: перамяшчаюцца арганоіды ў клетках, раскрываюцца і закрываюцца кветкі, лісты змяняюць сваё становішча ў прасторы, складваюцца лісцікі складанага ліста і г. д. Праўда гэтыя рухі менш прыметны, чым рухі жывёл.

6. Раздражняльнасць. Усе жывыя арганізмы здольны тым ці іншым чынам рэагаваць на змяненні знешняга і ўнутранага асяроддзя, што дапамагае ім выжыць. Здольнасць жывых клетак, тканак, органаў і цэлых арганізмаў адказваць прыстасавальнымі рэакцыямі на вонкавыя або ўнутраныя ўздзеянні называецца **раздражняльнасцю**. Напрыклад, у *фасолі* ў гарачы дзень лісцікі складваюцца. У млекакормячых пры павышэнні тэмпературы навакольнага асяроддзя расшыраюцца крывяносныя сасуды скуры, узмацняецца потавыдзяленне — тым самым падтрымліваецца аптымальная тэмпература цела. Любое змяненне ў навакольным асяроддзі з'яўляецца раздражняльнікам, а рэакцыя арганізма — праяўленнем раздражняльнасці. Спалучэнні «раздражняльнік-рэакцыя» могуць назапашвацца ў выглядзе вопыту і выкарыстоўвацца арганізмам у якасці ўмоўных рэфлексаў.

7. Размнажэнне. Працягласць жыцця кожнага арганізма абмежавана. Аднак віды могуць існаваць неакрэслена доўга. Працяглае існаванне кожнага віду жывых арганізмаў забяспечваецца дзякуючы захаванню ў патомства асноўных прымет бацькоў. Гэта ажыццяўляецца пры бясполым або палавым размнажэнні. **Размнажэнне** — гэта здольнасць арганізмаў узнаўляць сабе падобных.

8. Спадчыннасць і зменлівасць. Узнаўленне сабе падобных цесна звязана са **спадчыннасцю** — здольнасцю арганізмаў перадаваць нашчадкам свае прыметы і ўласцівасці ў нязмененым выглядзе. Нашчадкі звычайна падобныя да сваіх бацькоў, але не ідэнтычныя ім. Здольнасць арганізмаў набываць новыя ўласцівасці і прыметы называецца **зменлівасцю**.

9. Рост і развіццё. На працягу жыцця арганізмы зведваюць шэраг колькасных (павелічэнне колькасці клетак, масы і памераў цела) і якасных (дыферэнцыроўка клетак, утварэнне тканак і органаў, старэнне) змяненняў, г. зн. арганізмы валодаюць здольнасцю да **росту** і **індывідуальнага развіцця**.

10. Аадаптацыя да ўмоў існавання. Жывыя арганізмы адаптаваны (прыстасаваны) да свайго асяроддзя існавання. Яны адпавядаюць свайму спосабу жыцця. Дастаткова азнаёміцца з будовай цела *крата*, *рыбы* або *паразітычнага чарвяка*, каб зразумець, у якіх умовах яны жывуць. Асаблівасці будовы, жыццядзейнасці і паводзін, якія забяспечваюць выжыванне і размнажэнне жывых арганізмаў у іх асяроддзі пражывання, называюцца **адаптацыямі.**

Глава 1 Хімічныя кампаненты жывых арганізмаў

§ 1. Утрыманне хімічных элементаў у арганізме. Макра- і мікраэлементы

У жывых арганізмах выяўлена больш за 70 хімічных элементаў. Яны з'яўляюцца састаўной часткай пэўных рэчываў, якія ўтвараюць структуры арганізма і ўдзельнічаюць у хімічных рэакцыях. Адных хімічных элементаў у арганізмах змяшчаецца больш, другіх менш, трэція прысутнічаюць у нязначнай колькасці.

Макраэлементы. Хімічныя элементы, наяўнасць якіх у жывых арганізмах складае ад дзясяткаў да сотых долей працэнта, называюцца **макраэлементамі**. Жывыя арганізмы больш чым на 98 % складаюцца з чатырох хімічных элементаў: кіслароду (O), вугляроду (C), вадароду (H) і азоту (N). Вадарод і кісларод — састаўныя элементы вады. Нараўне з вугляродам і азотам гэтыя элементы з'яўляюцца асноўнымі складальнікамі арганічных злучэнняў жывых арганізмаў.

У састаў малекул многіх арганічных рэчываў таксама ўваходзяць сера (S) і фосфар (P). Акрамя таго, да макраэлементаў адносяцца натрый (Na), калій (K), магній (Mg), кальцый (Ca), хлор (Cl) і інш.

Важнейшым макраэлементам для арганізма чалавека з'яўляецца кальцый. Яго злучэнні, у прыватнасці артафасфат, складаюць мінеральную аснову касцей і зубоў. Другія злучэнні кальцыя ўдзельнічаюць у нервовай і мышачнай дзейнасці, уваходзяць у састаў клетак і тканкавай вадкасці арганізма. Сутачная патрэбнасць дарослага чалавека ў кальцыі складае ад 0,8 да 2 г. Асноўныя крыніцы гэтага элемента — малако, кефір, тварог, сыр, рыба, фасоля, пятрушка, зялёная цыбуля, а таксама яйкі, грэчка, аўсянка, морква і гарох.

Аднак у страве могуць таксама змяшчацца рэчывы, якія перашкаджаюць засваенню кальцыю, напрыклад шчаўевая кіслата і фіцін. Са шчаўевай кіслатой кальцый утварае маларастваральную соль, фіцін таксама даволі моцна ўтрымлівае кальцый. Таму важна не злоўжываць стравамі са шчаўя і шпінату, у лістах якіх змяшчаецца 0,1—0,5 % шчаўевай кіслаты. Фіцін, які прысутнічае ў агародніне і злаках, разбураецца пры награванні, таму менш шкодны. Жытні хлеб карысней пшанічнага — у ім менш фіціну.

Мікраэлементы. Жыццёва важныя элементы, якія змяшчаюцца ў жывых арганізмах у выключна малой колькасці (менш чым 0,01 %) складаюць групу **мікраэлементаў**. Да гэтай групы адносяцца некаторыя металы, напрыклад, жалеза (Fe), цынк (Zn), медзь (Cu), марганец (Mn), кобальт (Co), малібдэн (Mo), а таксама неметалы фтор (F), ёд (I) і інш.

Працэнтнае ўтрыманне таго ці іншага элемента не характарызуе ступень яго важнасці ў арганізме. Напрыклад, ёд, утрыманне якога ў норме ў арганізме чалавека не перавышае 0,0001 %, уваходзіць у састаў гармонаў шчытападобнай залозы тыраксіну і трыёдтыраніну. Гэтыя гармоны рэгулююць абмен

рэчываў, уплываюць на рост, развіццё і дыферэнцыроўку тканак, на дзейнасць нервовай сістэмы.

Жалеза і медзь уваходзяць у састаў ферментаў, якія ўдзельнічаюць у клетачным дыханні. Разам з кобальтам яны іграюць важную ролю ў працэсах крывятварэння. Цынк і марганец робяць уплыў на рост і развіццё арганізмаў. Фтор уваходзіць у састаў касцявой тканкі і эмалі зубоў. Больш падрабязная інфармацыя аб утрыманні і біялагічнай ролі хімічных элементаў у жывых арганізмах прыведзена ў табліцы 1.

Табліца 1. **Біялагічна важныя хімічныя элементы**

Элемент	Утрыманне, %	Біялагічная роля
Макраэлементы		
Кісларод (O)	65—75	Уваходзіць у састаў малекул вады і арганічных рэчываў, забяспечвае рэакцыі акіслення, у ходзе якіх вызваляецца неабходная арганізму энергія
Вуглярод (C)	15—18	Уваходзіць у састаў малекул усіх арганічных рэчываў
Вадарод (H)	8—10	Уваходзіць у састаў малекул вады і ўсіх арганічных рэчываў
Азот (N)	1,5—3	Уваходзіць у састаў малекул арганічных рэчываў, у тым ліку бялкоў, нуклеінавых кіслот, АТФ
Кальцый (Ca)	0,04—2	Уваходзіць у састаў касцявой тканкі, зубной эмалі, удзельнічае ў працэсах згусання крыві і забяспечвае скарачальнасць мышачных валокнаў. У раслін уваходзіць у састаў клетачнай сценкі
Фосфар (P)	0,2—1	Уваходзіць у састаў арганічных рэчываў (ДНК, РНК, АТФ і інш.), касцявой тканкі і зубной эмалі
Калій (K)	0,15—0,4	Адзін з асноўных катыёнаў у арганізме жывёл: удзельнічае ў генерацыі біяэлектрычных патэнцыялаў, рэгуляцыі рытму сардэчнай дзейнасці. Таксама ўдзельнічае ў працэсе фотасінтэзу
Сера (S)	0,15—0,2	Уваходзіць у састаў арганічных рэчываў (бялкоў, некаторых амінакіслот)
Хлор (Cl)	0,05—0,1	Асноўны аніён у арганізме жывёл. Уваходзіць у састаў салянай кіслаты страўнікавага соку
Натрый (Na)	0,02—0,03	Адзін з асноўных катыёнаў: удзельнічае ў генерацыі біяэлектрычных патэнцыялаў, падтрымлівае нармальны рытм сардэчнай дзейнасці, уплывае на сінтэз гармонаў
Магній (Mg)	0,02—0,03	Уваходзіць у састаў хларафілу, некаторых ферментаў, а таксама касцявой тканкі і зубной эмалі

Канчатак табл. 1

Элемент	Утрыманне, %	Біялагічная роля
Мікраэлементы		
Жалеза (Fe)	0,01	Уваходзіць у састаў многіх ферментаў, гемаглабіну і міяглабіну. Удзельнічае ў працэсах клетачнага дыхання і фотасінтэзу
Крэмній (Si)*	0,001	Удзельнічае ў фарміраванні касцей і калагену — асноўнага бялку злучальнай тканкі жывёл. Уваходзіць у састаў клетачнай абалонкі раслін
Цынк (Zn)	0,0003	Уваходзіць у састаў інсуліну, некаторых ферментаў, удзельнічае ў сінтэзе раслінных гармонаў
Медзь (Cu)	0,0002	Удзельнічае ў працэсах фотасінтэзу, клетачнага дыхання, сінтэзу гемаглабіну. Уваходзіць у састаў гемацыянінаў — дыхальных пігментаў крыві і гемалімфы некаторых беспазваночных жывёл
Фтор (F)	0,0001	Уваходзіць у састаў зубной эмалі і касцявой тканкі
Ёд (I)	0,0001	Уваходзіць у састаў гармонаў шчытападобнай залозы
Марганец (Mn)	Менш чым 0,0001	Уваходзіць у састаў або павышае актыўнасць некаторых ферментаў. Удзельнічае ў фарміраванні касцей, у працэсе фотасінтэзу
Кобальт (Co)	Менш чым 0,0001	Уваходзіць у састаў вітаміну B_{12}, удзельнічае ў працэсах крывятварэння
Малібдэн(Mo)	Менш чым 0,0001	Удзельнічае ў працэсах звязвання атмасфернага азоту клубеньчыкавымі бактэрыямі

* Для раслін — макраэлемент

Для чалавека крыніцамі макра- і мікраэлементаў з’яўляюцца прадукты харчавання і вада. Таму для поўнага задавальнення патрэб у макра- і мікраэлементах неабходна паўнацэннае і разнастайнае харчаванне, якое ўключае прадукты жывёльнага і расліннага паходжання. Для Беларусі і некаторых іншых рэгіёнаў Зямлі характэрны недахоп ёду і фтору ў прыродная вадзе. Таму вельмі важна часцей ужываць морапрадукты, а таксама папаўняць гэты недахоп выкарыстаннем фтарыраванай і ёдаванай кухоннай солі, вытворчасць і продаж якой налажаны ў нашай краіне.

? **1.** У якой групе ўсе элементы адносяцца да макраэлементаў? Да мікраэлементаў?

а) Жалеза, сера, кобальт; в) натрый, кісларод, ёд;
б) фосфар, магній, азот; г) фтор, медзь, марганец.

2. Якія хімічныя элементы называюцца макраэлементамі? Пералічыце іх. Якое значэнне макраэлементаў у жывых арганізмах?
3. Якія элементы называюцца мікраэлементамі? Прывядзіце прыклады. У чым заключаецца роля мікраэлементаў для жыццядзейнасці арганізмаў?
4. Устанавіце суадносіны паміж хімічным элементам і яго біялагічнай функцыяй:

1) кальцый
2) магній
3) кобальт
4) ёд
5) цынк
6) медзь

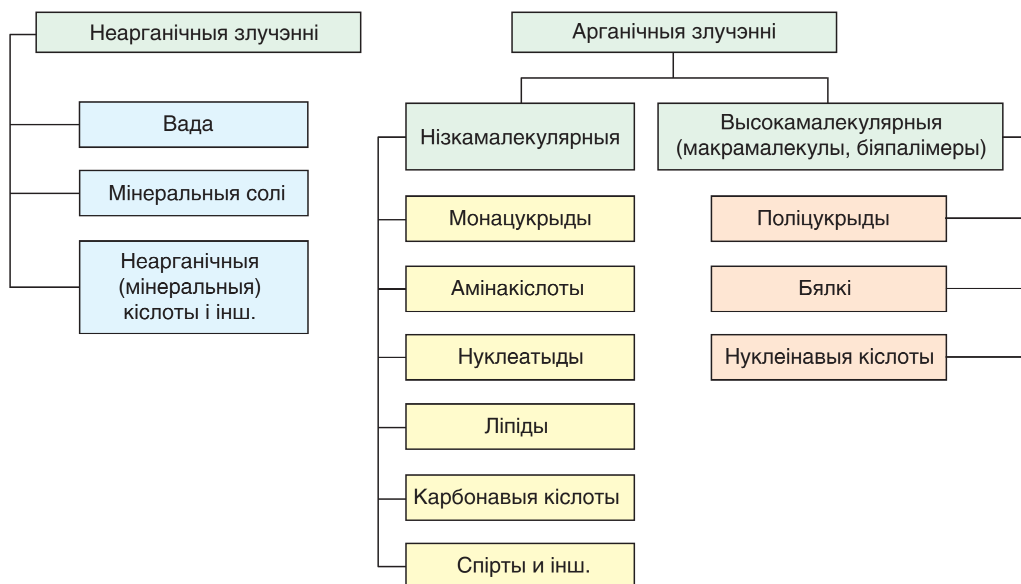
а) удзельнічае ў сінтэзе гармонаў раслін, уваходзіць у састаў інсуліну.
б) уваходзіць у састаў гармонаў шчытападобнай залозы.
в) з'яўляецца кампанентам хларафілу.
г) уваходзіць у састаў гемацыянінаў некаторых беспазваночных жывёл.
д) неабходны для мышачнага скарачэння і згусання крыві.
е) уваходзіць у састаў вітаміну B_{12}.

5. На аснове матэрыялу аб біялагічнай ролі макра- і мікраэлементаў і ведаў, атрыманых пры вывучэнні арганізма чалавека ў 9-м класе, растлумачце, да якіх вынікаў можа прывесці недахоп тых ці іншых хімічных элементаў у арганізме чалавека.
6. У табліцы паказана наяўнасць асноўных хімічных элементаў у зямной кары (па масе, у %). Параўнайце састаў зямной кары і жывых арганізмаў. У чым заключаюцца асаблівасці элементарнага саставу жывых арганізмаў? Якія факты дазваляюць зрабіць вывад аб адзінстве жывой і нежывой прыроды?

Элемент	Утрыманне, %	Элемент	Утрыманне, %	Элемент	Утрыманне, %
Кісларод	49,13	Натрый	2,4	Вуглярод	0,35
Крэмній	26	Магній	2,35	Хлор	0,2
Алюміній	7,45	Калій	2,35	Фосфар	0,125
Жалеза	4,2	Вадарод	1	Сера	0,1
Кальцый	3,25	Тытан	0,61	Азот	0,04

§ 2. Хімічныя злучэнні ў жывых арганізмах. Неарганічныя рэчывы

Пазнаёміўшыся з хімічнымі элементамі, якія змяшчаюцца ў жывых арганізмах, звернемся да вывучэння рэчываў, у састаў якіх гэтыя элементы ўваходзяць. Сярод іх выдзяляюць неарганічныя (вада, мінеральныя солі і кіслоты)

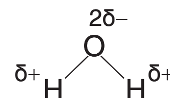


Мал. 1. Рэчывы, якія ўваходзяць у састаў жывых арганізмаў

і арганічныя злучэнні (мал. 1). Больш за ўсё па масе ў жывых арганізмах змяшчаецца вады.

Вада. Утрыманне вады ў жывых арганізмах складае 60—75 % іх масы, а ў некаторых, напрыклад *медуз*, — да 98 %. У лістах і сакавітых пладах раслін утрыманне вады таксама можа дасягаць 98 %.

Колькасць вады неаднолькавая ў розных тканках і органах. Так, у чалавека ў шэрым рэчыве галаўнога мозга яе ўтрыманне складае 85 %, а ў касцявой тканцы — 22 %. Найбольшае ўтрыманне вады ў арганізме назіраецца ў эмбрыянальны перыяд (95 %) і з узростам паступова памяншаецца. Без ужывання вады чалавек можа пражыць не больш чым 5—7 дзён.

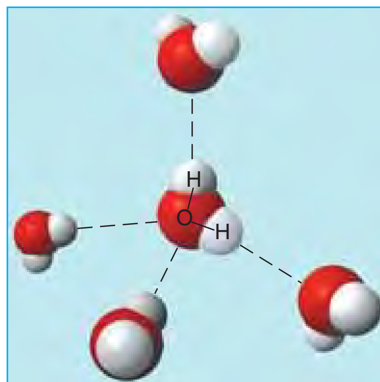


Як вы ўжо ведаеце з курса хіміі, малекула вады (H_2O) складаецца з двух атамаў вадароду, злучаных кавалентнымі палярнымі сувязямі з атамам кіслароду.

Сувязі H—O—H размешчаны пад вуглом 104,5° адзін да другога. Кісларод валодае большай электраадмоўнасцю, чым вадарод, таму атам кіслароду прыцягвае да сябе агульныя электронныя пары і набывае часткова адмоўны зарад. Атамы вадароду набываюць часткова дадатны зарад, г. зн. малекула вады з'яўляецца **палярнай**.

Паміж атамам кіслароду адной малекулы вады і атамам вадароду другой малекулы ўзнікае электрастатычнае прыцяжэнне. Такое ўзаемадзеянне, больш слабае,

чым іонная сувязь, называецца **вадароднай сувяззю**. Кожная малекула вады, падобна маленькаму магніту, прыцягвае да сябе за кошт утварэння вадародных сувязей яшчэ чатыры малекулы (мал. 2). Дзякуючы ўтварэнню вадародных сувязей малекулы вады звязаны адна з другой. Таму вада пры тэмпературах ад 0 °С да 100 °С можа захоўваць вадкі агрэгатны стан, у той час як падобныя ёй вадародныя злучэнні (напрыклад, H_2S, NH_3, HF) з'яўляюцца газамі.



Мал. 2. Вадародныя сувязі паміж малекуламі вады

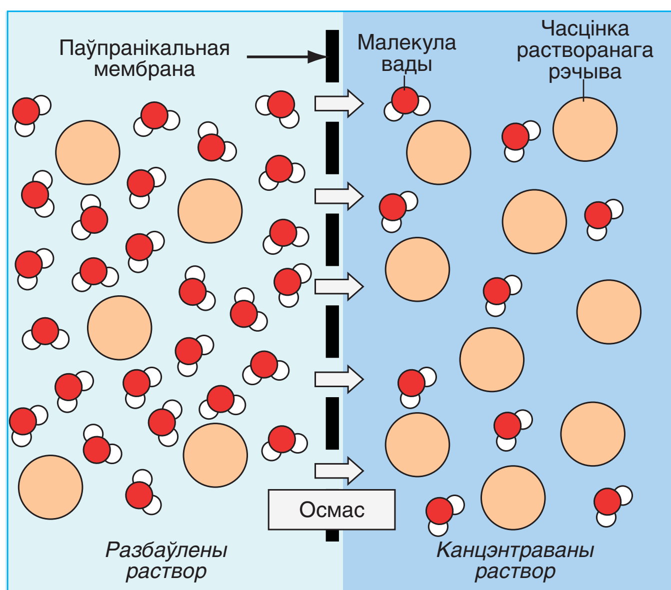
Біялагічная роля вады ў жывых арганізмах звязана з яе ўласцівасцямі, перш за ўсё з малымі памерамі малекул, іх палярнасцю і здольнасцю ўтвараць вадародныя сувязі паміж сабой і з іншымі злучэннямі.

Менавіта вада вызначае аб'ём клетак і ўнутрыклетачны (**тургарны**) ціск. Дзякуючы палярнасці малекулы вады здольны фарміраваць так званыя гідратныя абалонкі вакол іонаў і палярных малекул. Гэта садзейнічае адасабленню часціц і перашкаджае іх склейванню, што асабліва важна, напрыклад, для бялковых малекул.

Палярнасць малекул і здольнасць утвараць вадародныя сувязі робіць ваду **ўніверсальным растваральнікам для палярных рэчываў**, лепшым, чым большасць вядомых вадкасцей. У залежнасці ад растваральнасці ў вадзе злучэнні ўмоўна дзеляць на растваральныя, або **гідрафільныя** (ад грэч. *гідор* — вада, *філія* — люблю), і нерастваральныя, або **гідрафобныя** (ад грэч. *фобас* — страх). Гідрафільнымі рэчывамі з'яўляюцца мона- і дыцукрыды, многія мінеральныя солі і кіслоты, ніжэйшыя спірты, ніжэйшыя карбонавыя кіслоты і інш. Гідрафобны вышэйшыя карбонавыя кіслоты, тлушчы і некаторыя іншыя рэчывы.

Вада — гэта асяроддзе працякання мноства абменных працэсаў. Большасць хімічных рэакцый у арганізме адбываецца менавіта ў водных растворах. Паступленне і вывядзенне рэчываў з клеткі адбываецца, як правіла, у раствораным выглядзе. Вада прымае непасрэдны ўдзел у многіх хімічных рэакцыях, якія адбываюцца ў клетках, у тым ліку ў працэсах расшчаплення арганічных злучэнняў. Яна з'яўляецца адным с зыходных рэчываў у рэакцыях фотасінтэзу. Кісларод, утвораны ў працэсе фотасінтэзу, выдзяляецца пры расшчапленні малекул вады.

Вада як растваральнік прымае ўдзел у з'явах осмасу, якія іграюць важную ролю ў жыццядзейнасці клетак арганізма. **Осмас** — гэта перамяшчэнне малекул вады праз паўпранікальную мембрану (напрыклад, праз цытаплазматычную мем-



Мал. 3. Схема працэсу осмасу

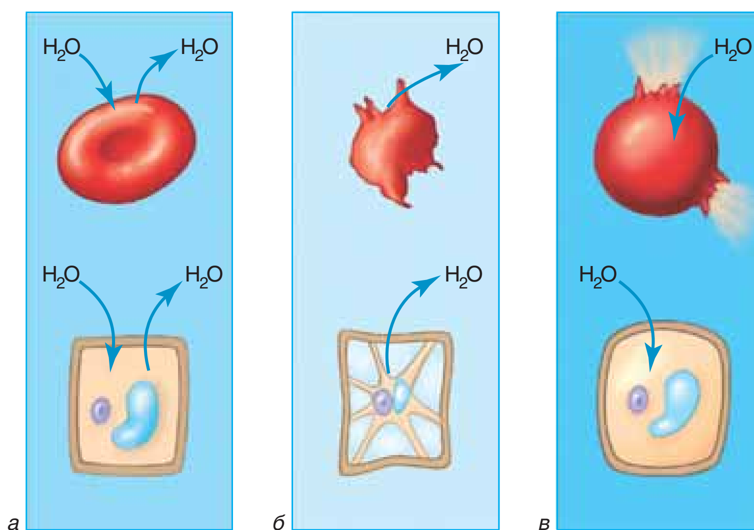
брану клеткі) з вобласці з меншай канцэнтрацыяй растворaных рэчываў (напрыклад, солей, цукраў або мачавіны) у вобласць з больш высокай канцэнтрацыяй гэтых рэчываў (мал. 3). За кошт осмасу адбываецца выраўноўванне канцэнтрацый растворaных рэчываў у клетцы і пазаклетачным асяроддзі.

Калі раствор і растваральнік (напрыклад, ваду) раздзяліць выбарачна пранікальнай мембранай, назіраецца перамяшчэнне малекул растваральніка праз мембрану ў раствор. Для таго каб забараніць паступленне растваральніка, да раствору неабходна прыкласці пэўны ціск, які называецца асматычным ціскам. Чым больш канцэнтраваным з'яўляецца раствор, тым вышэй яго асматычны ціск.

Растворы, асматычны ціск якіх такі ж, як у клетках, атрымалі назву ізатанічных. Аб'ём клетак, пагружаных у ізатанічныя растворы, застаецца нязменным (мал. 4, *а*). Ізатанічныя растворы, у прыватнасці фізіялагічны раствор (водны раствор NaCl з масавай доляй 0,9 %), выкарыстоўваюцца ў медыцыне. Іх прымяняюць пры моцным абязводжванні і страце крыві хворымі, а таксама для растварэння лекавых прэпаратаў, якія ўводзяцца шляхам ін'екцый.

Раствор, асматычны ціск якога вышэй, чым у клетках, называецца гіпертанічным. Клеткі, пагружаныя ў гіпертанічны раствор, губляюць ваду і памяншаюцца ў аб'ёме, г. зн. зморшчваюцца (мал. 4, *б*). Гіпертанічны раствор знаходзіць прымяненне пры лячэнні ран. Марлявая павязка, змочаная такім растворам, добра ўбірае гной, што садзейнічае ачышчэнню і загойванню раны.

Супрацьлеглая карціна назіраецца пры пагружэнні клетак у гіпатанічны раствор, у якім канцэнтрацыя растворaных рэчываў ніжэй, чым у клетках. У гэтым выпадку вада імкнецца ў клетку, клетка разбухае і можа лізіравацца, г. зн. лопнуць (мал. 4, *в*).



Мал. 4. Осмас пры пагружэнні эрытрацыта і клеткі расліны ў ізатанічны (*а*), гіпертанічны (*б*) і гіпатанічны (*в*) растворы

З вадой звязана таксама **рэгуляцыя цеплавога рэжыму** арганізмаў. Вадзе ўласціва высокая цеплаёмістасць — здольнасць паглынаць вялікую колькасць цеплаты пры нязначных зменах уласнай тэмпературы. Дзякуючы гэтаму вада папярэджвае рэзкія змены тэмпературы ў клетках і арганізме ў цэлым, нават калі тэмпературныя ваганні ў навакольным асяроддзі дастаткова вялікія.

Агульная колькасць вадародных сувязей паміж малекуламі вады мяняецца ў залежнасці ад тэмпературы. Пры раставанні лёду разбураецца прыкладна 15 % вадародных сувязей, а пры 40 °С — палавіна. Пры пераходзе ў стан пары разбураюцца ўсе вадародныя сувязі. Пры змяненні тэмпературы знешняга асяроддзя вада паглынае (або выдзяляе) цеплату ў выніку разрыву (або ўтварэння) шматлікіх вадародных сувязей. Гэтым тлумачыцца высокая ўдзельная цеплаёмістасць вады.

Пры выпарэнні вады арганізмамі (транспірацыя ў раслін, потавыдзяленне ў млекакормячых) траціцца шмат цеплаты, што захоўвае іх ад перагрэву.

Дзякуючы высокай цеплаправоднасці вада забяспечвае раўнамернае размеркаванне цеплаты паміж тканкамі арганізма (напрыклад, праз сістэму кровазвароту). Такім чынам, вада ўдзельнічае ў рэгуляцыі цеплавога рэжыму арганізма.

Мінеральныя солі і кіслоты. Для падтрымання жыццядзейнасці клетак і арганізма ў цэлым неабходны мінеральныя солі. У жывых арганізмах яны знаходзяцца або ў раствораным выглядзе (дысацыіраваныя на іоны), або ў цвёрдым стане. З біялагічнага пункту гледжання найбольш важнымі сярод іонаў з'яўляюцца катыёны K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} і аніёны Cl^-, HCO_3^-, HPO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$.

Агульнае ўтрыманне мінеральных солей у розных клетках вар'іруе ад аднаго да некалькіх працэнтаў. Іх роля ў клетцы разнастайная. Так, розная канцэнтрацыя іонаў K^+ і Na^+ унутры і звонку клетак прыводзіць да ўзнікнення рознасці электрычных патэнцыялаў на цытаплазматычнай мембране, што вельмі важна для перадачы нервовых імпульсаў, а таксама для транспарту рэчываў праз мембрану. Пры памяншэнні гэтай рознасці зніжаецца ўзбуджальнасць клетак.

Некаторыя іоны неабходны для сінтэзу арганічных рэчываў. Напрыклад, астаткі фосфарнай кіслаты ўваходзяць у састаў нуклеатыдаў і АТФ, іон Fe^{2+} — у састаў гемаглабіну, Mg^{2+} — у састаў хларафілу і г. д. Іоны NO_3^-, NH_4^+ з'яўляюцца крыніцамі атамаў азоту, іон SO_4^{2-} — атамаў серы, якія неабходны аўтатрофным арганізмам для сінтэзу амінакіслот. Рэгулятарную функцыю і актывізацыю многіх ферментаў ажыццяўляюць іоны Ca^{2+} і Mg^{2+}. Акрамя таго, іоны Mg^{2+} актывізуюць энергетычны абмен і сінтэз АТФ.

Злучэнні кальцыю (напрыклад, $CaCO_3$) уваходзяць у састаў ракавін малюскаў, панцыраў ракападобных і іншых жывёл. У некаторых пратыстаў унутрыклетачны шкілет пабудаваны з аксіду крэмнію(IV) SiO_2 або сульфату стронцыю $SrSO_4$.

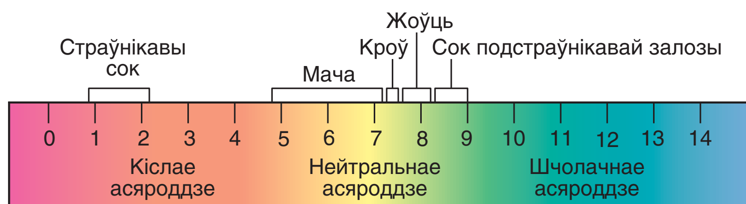
Неарганічныя кіслоты таксама выконваюць важныя функцыі ў арганізме. Так, у страўніку пазваночных саляная кіслата стварае кіслае асяроддзе, садзейнічае знішчэнню хваробатворных мікраарганізмаў і актывізацыі ферментаў страўнікавага соку, стымулюе скарачэнні сценак страўніка. Вугальная кіслата і яе аніёны фарміруюць бікарбанатную буферную сістэму, а аніёны фосфарнай кіслаты — фасфатную буферную сістэму.

Кіслотнасць асяроддзя. На працяканне біяхімічных рэакцый у жывых арганізмах істотны ўплыў аказвае канцэнтрацыя іонаў вадароду (H^+) — **кіслотнасць асяроддзя**. У нейтральных растворах гэтая канцэнтрацыя складае 10^{-7} моль/л. Для характарыстыкі кіслотнасці асяроддзя зручна карыстацца **вадародным паказальнікам pH** (пэ-аш) і **шкалой pH** (мал. 5).

У водных растворах велічыня pH звычайна прымае значэнні ад 0 да 14. Нейтральнае асяроддзе характарызуецца значэннем $pH = 7$, у шчолачным асяроддзі pH больш за 7, у кіслым — менш за 7. Чым больш велічыня pH адрозніваецца ад 7, тым больш кіслым або шчолачным з'яўляецца раствор.

Унутры клетак асяроддзе нейтральнае або слабашчолачнае ($pH = 7{,}0$—$7{,}3$), у крыві велічыня pH крыху вышэйшая, чым у клетках і звычайна вагаецца ў межах 7,35—7,45. У стрававальным тракце pH моцна вар'іруе. Экстрэмальныя велічыні pH характэрны для страўніка (1—2) і тонкага кішэчніка (больш чым 8). Значныя ваганні pH (4,8—7,4) назіраюцца ў мачы.

Паняцце аб буферных растворах. Жывыя арганізмы ў цэлым і іх асобныя клеткі валодаюць здольнасцю падтрымліваць кіслотнасць асяроддзя на пэўным узроўні. У падтрыманні слабашчолачнай рэакцыі пазаклетачнага асяроддзя

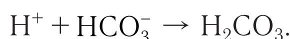


Мал. 5. Шкала значэнняў pH

ўдзельнічаюць вугальная кіслата H_2CO_3 і гідракарбанат-іон HCO_3^-. Вугальная кіслата — слабы электраліт, у растворы пэўная частка яе малекул дысацыіравана і назіраецца баланс:

$$H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-.$$

Калі па якой-небудзь прычыне канцэнтрацыя іонаў H^+ у растворы павялічваецца (асяроддзе становіцца больш кіслым), аніоны HCO_3^- звязваюць іх:



$$H^+ + HCO_3^- \rightarrow H_2CO_3.$$

Калі кіслотнасць асяроддзя зніжаецца, малекулы вугальнай кіслаты дысацыіруюць, вызваляючы дадатковыя іоны вадароду:

$$H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-.$$

Так у растворы захоўваецца адносна пастаянная канцэнтрацыя іонаў H^+. Такім жа чынам аніоны фосфарнай кіслаты $H_2PO_4^-$ і HPO_4^{2-} забяспечваюць падтрыманне нейтральнага або слабашчолачнага асяроддзя ўнутры клетак. Растворы, у якіх пры змяненні саставу асяроддзя забяспечваецца адноснае пастаянства канцэнтрацыі іонаў вадароду (H^+), называюцца **буфернымі**.

?

1. Якія неарганічныя рэчывы ўваходзяць у састаў жывых арганізмаў?

2. Якія рэчывы называюцца гідрафільнымі? Гідрафобнымі? Прывядзіце прыклады.

3. Ахарактарызуйце біялагічную ролю мінеральных солей і кіслот.

4. Колькі вады змяшчаецца ў жывых арганізмах? Ад чаго гэта залежыць? Чаму расліны пры недахопе вады вянуць?

5. Два растворы глюкозы раздзелены мембранай, якая не прапускае малекулы глюкозы, але прапускае ваду. Канцэнтрацыя глюкозы ў першым растворы — 1 %, у другім — 0,1 %. Што адбываецца з малекуламі вады? Як называецца гэтая з'ява?

6. Якія асноўныя функцыі вады ў жывых арганізмах? Як фізічныя і хімічныя ўласцівасці вады звязаны з яе біялагічнымі функцыямі?

7. Як вы думаеце, чаму большасць палярных рэчываў добра раствараюцца ў вадзе, а непалярныя, як правіла, нерастваральныя ў ёй?

8. Буферныя ўласцівасці пазаклетачнага асяроддзя забяспечваюць вугальная кіслата і гідракарбанат-іон, унутры клетак гэтую функцыю выконваюць аніоны фосфарнай кіслаты. Чаму гэтыя злучэнні дазваляюць падтрымліваць у растворах пэўную канцэнтрацыю іонаў вадароду, у той час як азотная і саляная кіслоты, а таксама іх аніоны не валодаюць такімі ўласцівасцямі?

§ 3. Арганічныя рэчывы. Амінакіслоты. Бялкі

Арганічныя рэчывы. Паняцце аб біяпалімерах. Як ужо адзначалася, у састаў жывых арганізмаў, акрамя неарганічных, уваходзяць розныя арганічныя рэчывы: бялкі, ліпіды, вугляводы, нуклеінавыя кіслоты і інш. Яны ўтвораны, перш за ўсё, чатырма хімічнымі элементамі: вугляродам, вадародам, кіслародам і азотам. У саставе бялкоў да гэтых элементаў дадаецца сера, а ў нуклеінавых кіслотах — фосфар.

У жывых арганізмах арганічныя рэчывы прадстаўлены як невялікімі, з адносна нізкай малекулярнай масай, малекуламі, так і макрамалекуламі. Да **нізкамалекулярных** злучэнняў адносяцца амінакіслоты, монацукрыды, нуклеатыды, карбонавыя кіслоты, спірты і некаторыя іншыя. **Макрамалекулы** (ад грэч. *макрас* — вялікі) прадстаўлены бялкамі, поліцукрыдамі і нуклеінавымі кіслотамі. Гэта складаныя па структуры злучэнні з вялікай малекулярнай масай. Так, адносная малекулярная маса большасці бялкоў складае ад 5000 да 1 000 000. Як вы ведаеце з курса хіміі, адносная малекулярная маса ($M_г$) роўна адносіне масы адной малекулы рэчыва да $\frac{1}{12}$ часткі масы атама вуглявода і, такім чынам, з'яўляецца велічынёй беспамернай. Значэнне $M_г$ паказвае, у колькі разоў маса малекулы дадзенага рэчыва большая за атамную адзінку масы.

Малекулы бялкоў, поліцукрыдаў і нуклеінавых кіслот складаюцца з вялікай колькасці аднолькавых або розных па саставу звёнаў, якія паўтараюцца. Як вы ведаеце з курса хіміі, падобныя злучэнні называюцца **палімерамі**. Простыя малекулы, з астаткаў якіх складаюцца палімеры, называюцца **манамерамі**. Манамерамі бялкоў з'яўляюцца амінакіслоты, манамерамі поліцукрыдаў — монацукрыды, малекулы нуклеінавых кіслот пабудаваны з нуклеатыдаў. Бялкі, поліцукрыды і нуклеінавыя кіслоты змяшчаюцца ў клетках усіх жывых арганізмаў і выконваюць выключна важныя біялагічныя функцыі, таму іх называюць **біялагічнымі палімерамі (біяпалімерамі)**.

У клетках розных жывых арганізмаў ўтрыманне тых або іншых арганічных злучэнняў рознае. Напрыклад, у клетках жывёл пераважаюць бялкі і ліпіды, а ў клетках раслін — вугляводы. Аднак у розных клетках пэўныя арганічныя злучэнні выконваюць падобныя функцыі.

У жывых арганізмах сярод макрамалекул па функцыянальным значэнні вядучая роля належыць бялкам. Бялкі ў многіх арганізмах пераважаюць і колькасна. Так, у арганізме жывёл яны складаюць 40—50 %, у арганізме раслін — 20—35 % сухой масы. Бялкі — гэта палімеры, манамерамі якіх з'яўляюцца амінакіслоты.

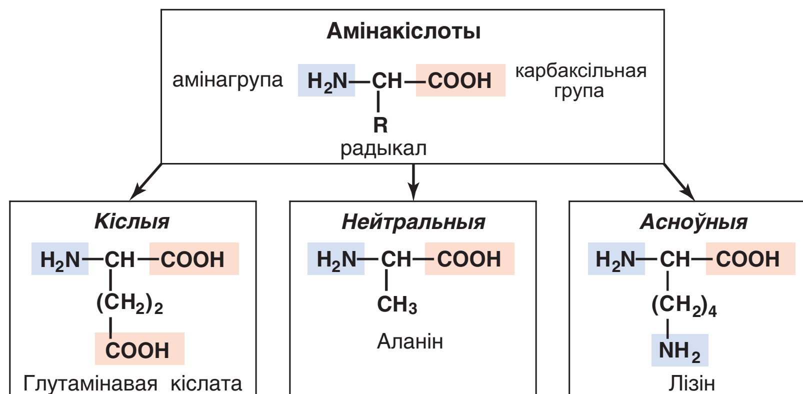
Амінакіслоты — «цаглінкі» бялковых малекул. Амінакіслоты — арганічныя злучэнні, якія ўтрымліваюць адначасова амінагрупу ($—NH_2$), для якой

характэрны асноўныя ўласцівасці, і карбаксільную групу (—COOH) з кіслотнымі ўласцівасцямі. Вядома каля 200 амінакіслот, але ва ўтварэнні прыродных бялкоў удзельнічае толькі 20. Такія амінакіслоты называюцца бялокутваральнымі. У табліцы 2 прыведзены поўныя і скарочаныя назвы гэтых амінакіслот (не для запамінання).

Табліца 2. **Бялокутваральныя амінакіслоты і іх скарочаныя абазначэнні**

Назва амінакіслаты	Абазначэнне	Назва амінакіслаты	Абазначэнне
Аланін	Ала	Лейцын	Лей
Аргінін	Арг	Лізін	Ліз
Аспарагін	Асн	Метыянін	Мет
Аспарагінавая кіслата	Асп	Пралін	Пра
Валін	Вал	Серын	Сер
Гістыдзін	Гіс	Тыразін	Тыр
Гліцын	Глі	Трэанін	Трэ
Глутамін	Глн	Трыптафан	Трп
Глутамінавая кіслата	Глу	Фенілаланін	Фен
Ізалейцын	Іле	Цыстэін	Цыс

У малекулах бялокутваральных амінакіслот карбаксільная група і амінагрупа звязаны з адным і тым жа атамам вуглярода. Па гэтай прымеце 20 амінакіслот падобныя паміж сабой. Другая частка малекулы, называемая радыкалам (R), у розных амінакіслот мае розную будову (мал. 6). Радыкал можа быць непалярным або палярным, гідрафобным або гідрафільным, што і надае розным амінакіслотам асобыя ўласцівасці.



Мал. 6. Разнастайнасць амінакіслот

У большай частцы бялокутваральных амінакіслот ёсць адна карбаксільная група і адна амінагрупа — такія амінакіслоты называюцца нейтральнымі. Існуюць таксама асноўныя амінакіслоты, з больш чым адной амінагрупай, і кіслыя амінакіслоты, з больш чым адной карбаксільнай групай. Наяўнасць дадатковай аміна- або карбаксільнай групы робіць уплыў на ўласцівасці амінакіслаты, якія іграюць пэўную ролю ў фарміраванні прасторавай структуры бялку. У састаў радыкала некаторых амінакіслот (напрыклад, цыстэіну) уваходзяць атамы серы.

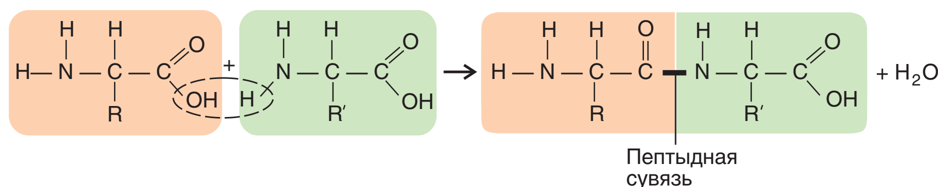
Аўтатрофныя арганізмы сінтэзуюць усе неабходныя ім амінакіслоты з першасных прадуктаў фотасінтэзу і азотзмяшчальных неарганічных злучэнняў. Для гетэратрофных арганізмаў крыніцай амінакіслот з'яўляецца ежа. У арганізме чалавека і жывёл некаторыя амінакіслоты могуць сінтэзавацца з прадуктаў абмену рэчываў (у першую чаргу — з другіх амінакіслот). Такія амінакіслоты называюцца заменнымі. Другія ж, так званыя незаменныя амінакіслоты, не могуць быць сінтэзаваны ў арганізме і таму павінны пастаянна паступаць у яго ў саставе бялкоў ежы. Бялкі ежы, якія ўтрымліваюць астаткі ўсіх незаменных амінакіслот, называюцца паўнацэннымі, у адрозненне ад непаўнацэнных, у саставе якіх адсутнічаюць астаткі тых або іншых незаменных амінакіслот.

Незаменнымі амінакіслотамі для чалавека з'яўляюцца: трыптафан, лізін, валін, ізайлецын, трэанін, фенілаланін, метыянін і лейцын. Для дзяцей незаменнымі з'яўляюцца таксама аргінін і гістыдзін.

Наяўнасць як асноўнай, так і кіслотнай груп абумоўлівае амфатэрнасць і высокую рэактыўную здольнасць амінакіслот. Амінагрупа ($—NH_2$) адной амінакіслаты здольна ўзаемадзейнічаць з карбаксільнай групай ($—COOH$) другой амінакіслаты. Пры гэтым выдзяляецца малекула вады, а паміж атамам азоту амінагрупы і атамам вугляроду карбаксільнай групы ўзнікае кавалентная сувязь, якая называецца **пептыднай сувяззю**. Малекула, якая ўтвараецца, уяўляе сабой **дыпептыд** (мал. 7). На адным канцы малекулы дыпептыду знаходзіцца свабодная амінагрупа, а на другім — свабодная карбаксільная група. Дзякуючы гэтаму дыпептыд можа далучаць да сябе іншыя амінакіслоты, утвараючы **алігапептыды**. Калі такім чынам злучаецца больш 10 астаткаў амінакіслот, то ўтвараецца **поліпептыд**.

Пептыды адыгрываюць важную ролю ў арганізме чалавека. Многія гармоны (глюкагон, вазапрэсін, аксітацын і інш.), антыбіётыкі (напрыклад, грамміцыдын), таксіны (напрыклад, дыфтэрыйны таксін) па хімічнай прыродзе з'яўляюцца аліга- і поліпептыдамі.

Бялкі. Узроўні арганізацыі бялковай малекулы. Поліпептыдныя ланцугі могуць быць вельмі доўгімі і ўключаць самыя розныя камбінацыі амінакіслотных астаткаў. Поліпептыды, у састаў малекул якіх уваходзіць ад 50 да некаль-



Мал. 7. Схема ўтварэння дыпептыду

кіх тысяч астаткаў амінакіслот, называюцца **бялкамі**. Кожны канкрэтны бялок характарызуецца строга пастаянным саставам і паслядоўнасцю амінакіслотных астаткаў.

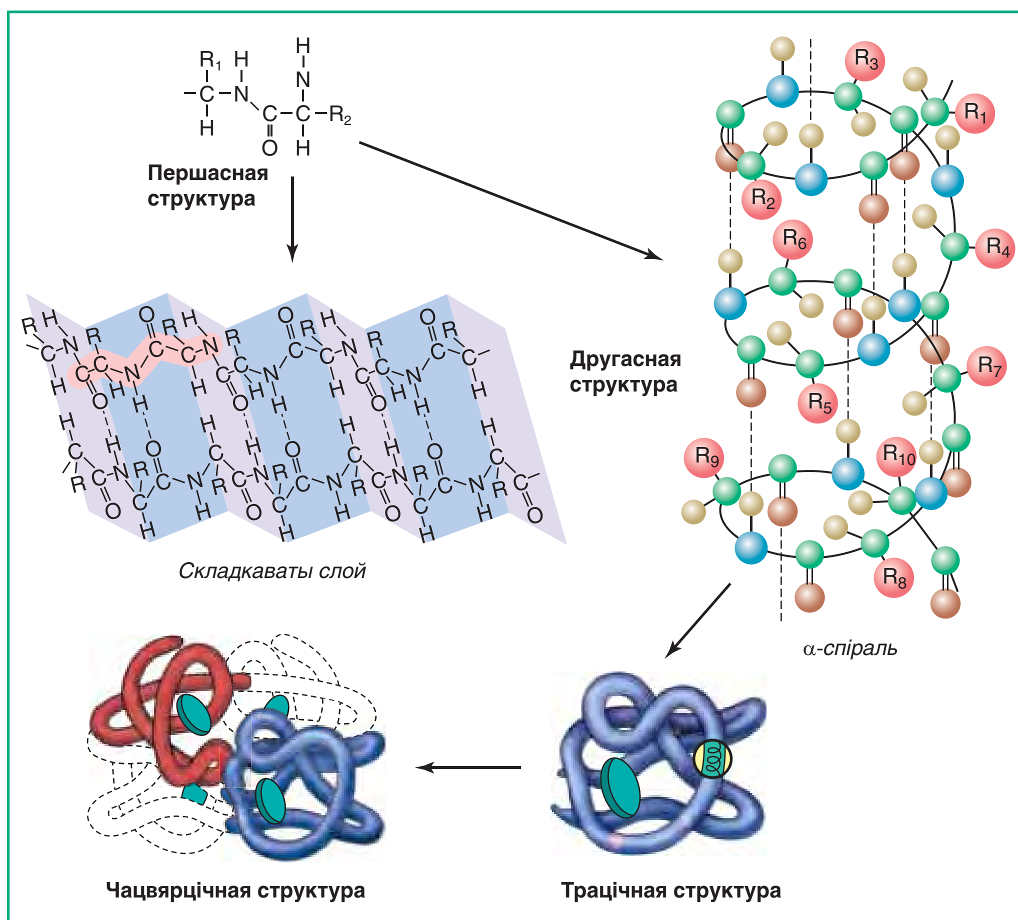
Бялкі, утвораныя толькі астаткамі амінакіслот, называюцца простымі. Складанымі з'яўляюцца бялкі, якія змяшчаюць у сваім саставе кампанент неамінакіслотнай прыроды. Гэта могуць быць іоны металаў (Fe^{2+}, Zn^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}), ліпіды, нуклеатыды, цукры і інш. Простымі бялкамі з'яўляюцца альбуміны крыві, фібрын, некаторыя ферменты (трыпсін) і інш. Складаныя бялкі — гэта большасць ферментаў, імунаглабуліны (антыцелы).

Малекулы бялкоў могуць прымаць розныя прасторавыя формы, якія ўяўляюць сабой чатыры ўзроўні іх структурнай арганізацыі (мал. 8).

Ланцужок з мноства амінакіслотных астаткаў, злучаных пептыднымі сувязямі, уяўляе сабой **першасную структуру** бялковай малекулы. Гэта найбольш важная структура, паколькі менавіта яна вызначае форму, уласцівасці і функцыі бялку. На аснове першаснай структуры ствараюцца іншыя віды структур. Кожны бялок арганізма мае ўнікальную першасную структуру.

Другасная структура бялку ўзнікае ў выніку ўтварэння вадародных сувязей паміж атамамі вадароду NH-груп і атамамі кіслароду CO-груп розных амінакіслотных астаткаў поліпептыднага ланцуга. Поліпептыдны ланцуг пры гэтым закручваецца ў спіраль. Вадародныя сувязі слабыя, але дзякуючы значнай колькасці яны забяспечваюць стабільнасць гэтай структуры. Цалкам спіральную канфігурацыю маюць, напрыклад, малекулы керытыну — асноўнага бялку валасоў і ногцяў чалавека. Спіральная другасная структура характэрна і для некаторых іншых бялкоў, напрыклад для міязіну і калагену.

Другасная структура бялку, акрамя спіралі, можа быць прадстаўлена складкаватым слоем. У гэтым выпадку некалькі поліпепдыдных ланцугоў (або ўчасткаў аднаго поліпептыднага ланцуга) размяшчаюцца паралельна, утвараючы структуру, складзеную накшталт гармоніка (гл. мал. 8). Такую канфігурацыю мае, напрыклад, бялок фібраін, які складае аснову валокан натуральнага шоўку.



Мал. 8. Узроўні арганізацыі бялковай малекулы

Трацічная структура фарміруецца за кошт утварэння вадародных, іонных і іншых сувязей, якія ўзнікаюць паміж рознымі групамі атамаў бялковай малекулы ў водным асяроддзі. У некаторых бялкоў значную ролю ва ўтварэнні трацічнай структуры адыгрываюць S—S сувязі (дысульфідныя сувязі) паміж астаткамі цыстэіну (амінакіслаты, якая ўтрымлівае серу). Пры гэтым поліпептыдная спіраль укладваецца ў своеасаблівы клубок (глобулу) такім чынам, што гідрофныя амінакіслотныя радыкалы пагружаюцца ўнутр глобулы, а гідрофныя размяшчаюцца на паверхні і ўзаемадзейнічаюць з малекуламі вады. Трацічнай структурай вызначаюцца спецыфічнасць бялковых малекул, іх біялагічная актыўнасць.

Трацічную структуру маюць многія бялкі, напрыклад, міяглабін (бялок, які ўдзельнічае ў стварэнні запасу кіслароду ў мышцах) і трыпсін (фермент, які расшчапляе бялкі ежы ў страўніку).

У састаў малекул некаторых бялкоў уваходзіць не адзін, а некалькі поліпептыдаў, якія ўтвараюць адзіны комплекс. Так фарміруецца **чацвярцічная структура**. Поліпептыды (яны могуць мець аднолькавую ці розную будову) не звязваюцца кавалентнымі сувязямі. Трываласць чацвярцічнай структуры забяспечваецца ўзаемадзеяннем слабых міжмалекулярных сіл. Напрыклад, чацвярцічная структура характэрна для бялку гемаглабіну. Яго малекула складаецца з чатырох структурных элементаў — субадзінак, у састаў кожнай субадзінкі ўваходзіць поліпептыдны ланцуг і небялковы кампанент — гем.

? **1.** Якія рэчывы з'яўляюцца біялагічнымі палімерамі? Якія рэчывы з'яўляюцца манамерамі для пабудовы малекул біяпалімераў?

а) Амінакіслоты;
б) нуклеінавыя кіслоты;
в) поліцукрыды;
г) нуклеатыды;
д) бялкі;
е) монацукрыды.

2. Якія функцыянальныя групы характэрны для ўсіх амінакіслот? Якімі ўласцівасцямі валодаюць гэтыя групы?

3. Колькі амінакіслот удзельнічае ва ўтварэнні прыродных бялкоў? Назавіце агульныя рысы будовы гэтых амінакіслот. Чым яны адрозніваюцца?

4. Якім чынам амінакіслоты злучаюцца ў поліпептыдны ланцуг? Пабудуйце дыпептыд і трыпептыд. Для выканання задання выкарыстайце структурныя формулы амінакіслот, паказаныя на малюнку 6.

5. Ахарактарызуйце ўзроўні структурнай арганізацыі бялкоў. Якія хімічныя сувязі абумоўліваюць розныя ўзроўні структурнай арганізацыі бялковых малекул?

6. Чалавек і жывёлы атрымліваюць амінакіслоты з ежы. З чаго могуць сінтэзавацца амінакіслоты ў раслін?

7. Колькі розных трыпептыдаў можна пабудаваць з трох малекул амінакіслот (напрыклад, аланіну, лізіну і глутамінавай кіслаты), калі кожную амінакіслату можна выкарыстаць толькі адзін раз? Ці будуць атрыманыя пептыды валодаць аднолькавымі ўласцівасцямі?

8. Для раздзялення сумесі бялкоў на асобныя кампаненты нярэдка выкарыстоўваецца метад электрафарэзу. Ён заснаваны на тым, што ў электрычным полі асобныя бялковыя малекулы з пэўнай скорасцю перамяшчаюцца да аднаго з электродаў. Пры гэтым адны бялкі рухаюцца ў бок катода (адмоўна зараджанага электрода), другія перамяшчаюцца да анода (станоўча зараджанага электрода). Якім чынам будова малекулы бялку звязана з яго здольнасцю рухацца ў электрычным полі? Ад чаго залежыць напрамак руху бялковых малекул? Ад чаго залежыць скорасць іх руху?

§ 4. Уласцівасці і функцыі бялкоў

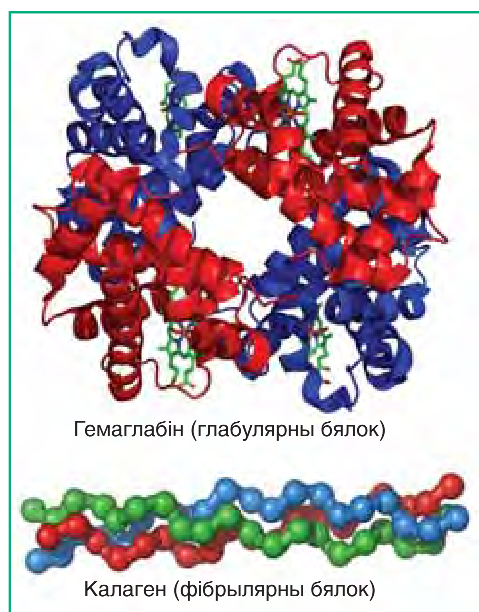
Разнастайнасць і ўласцівасці бялкоў. Па форме малекул бялкі можна раздзяліць на дзве групы. Малекулы **глабулярных** бялкоў маюць акруглую форму, **фібрылярныя** бялкі характарызуюцца выцягнутай, ніткападобнай формай малекул. Так, глабулярнымі бялкамі з'яўляюцца глабуліны і альбуміны крыві, фібрынаген, гемаглабін. Фібрылярныя бялкі — керацін, калаген, міязін, эластын і інш. (мал. 9).

Бялкі — пераважна водараставаральныя рэчывы, менавіта ў водных растворах яны выяўляюць сваю функцыянальную актыўнасць. Бялковыя малекулы нясуць вялікі паверхневы зарад. Гэта адбіваецца на каталітычнай актыўнасці бялкоў, на пранікальнасці біялагічных мембран (бялкі ўваходзяць у іх састаў) і іншых функцыях. Яшчэ адной важнай асаблівасцю бялкоў з'яўляецца тое, што яны праяўляюць сваю актыўнасць толькі ў вузкіх тэмпературных рамках і ў пэўным дыяпазоне кіслотнасці асяроддзя.

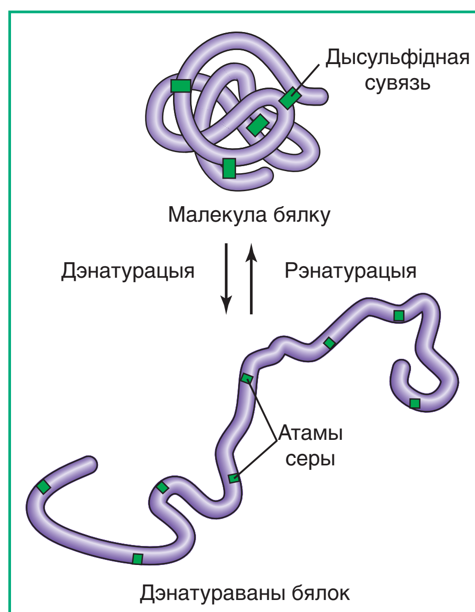
Дэнатурацыя і рэнатурацыя бялкоў. Адна з асноўных уласцівасцей бялкоў — здольнасць мяняць сваю структуру і ўласцівасці пад уплывам розных фактараў (высокая тэмпература, дзеянне канцэнтраваных кіслот і шчолачаў, цяжкіх металаў і інш.). Працэс парушэння прыроднай структуры бялкоў пад уплывам якіх-небудзь фактараў без разбурэння першаснай структуры называецца **дэнатурацыяй** (ад лац. *дэ* — прыстаўка, якая азначае страту, *натура* — прыродныя ўласцівасці). Дэнатурацыя адбываецца ў выніку разрыву вадародных, іонных, дысульфідных і іншых сувязей, якія стабілізуюць прасторавую структуру бялковых малекул. Пры гэтым можа страчвацца іх чацвярцічная, трацічная і нават другасная структура (мал. 10). Дэнатурацыя суправаджаецца стратай біялагічнай актыўнасці бялку. Пры гэтым назіраецца памяншэнне яго растваральнасці, змяненне формы і памераў малекул і г. д. Так, солі цяжкіх металаў пры ўзаемадзеянні з бялкамі ўтвараюць нераставаральныя злучэнні, і бялкі выпадаюць у асадак.

Дэнатурацыя часта мае незваротны характар. Аднак у шэрагу выпадкаў пасля непрацяглага ўздзеяння пашкоджваючага фактару бялок можа аднавіць свой першапачатковы стан. Гэтая з'ява называецца **рэнатурацыяй** (ад лац. *рэ* — прыстаўка, якая азначае аднаўленне). Разгорнуты поліпептыдны ланцуг здольны самаадвольна закруціцца ў спіраль, а затым укласціся ў трацічную структуру. Гэта азначае, што прасторавая структура бялку вызначаецца яго першаснай структурай, г. зн., паслядоўнасцю амінакіслотных статкаў.

З'ява дэнатурацыі часта выкарыстоўваецца ў біялагічных даследаваннях і ў медыцыне. Пры вызначэнні ў біялагічным матэрыяле нізкамалекулярных злучэнняў з раствору спачатку выдаляюць бялкі. Для гэтага выклікаюць іх дэнатурацыю, потым асаджваюць або адфільтроўваюць.



Мал. 9. Бялкі з рознай формай малекул



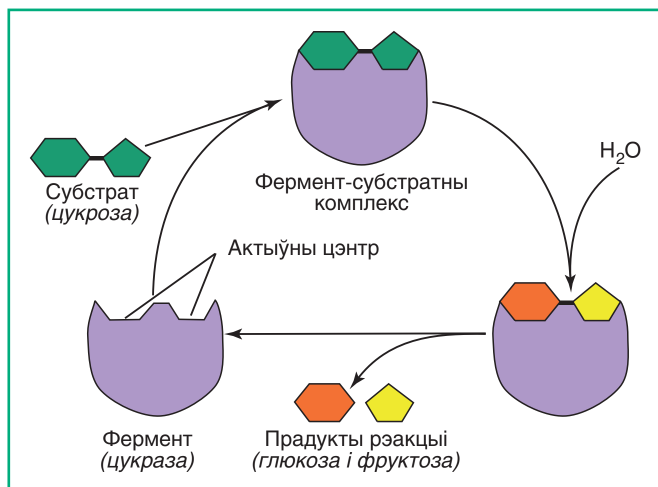
Мал. 10. Дэнатурацыя і рэнатурацыя бялкоў

У медыцыне дэнатурацыю прымяняюць для стэрылізацыі медыцынскіх інструментаў і матэрыялаў (тут дэнатурыруючым агентам з'яўляецца высокая тэмпература). Такія дэнатурыруючыя агенты, як этылавы спірт, фенол, хларамін, выкарыстоўваюць у якасці антысептыкаў для дэзінфекцыі забруджаных матэрыялаў і паверхняў. Аналагічныя працэсы адбываюцца пры абеззаражванні ран і драпін растворам ёду або спіртам.

Функцыі бялкоў. Вялікая разнастайнасць бялкоў дазваляе ім выконваць у жывым арганізме мноства розных функцый.

Структурная функцыя. Бялкі ўваходзяць у састаў усіх клетак і тканак жывых арганізмаў. Бялкі з'яўляюцца абавязковым кампанентам усіх клетачных мембран і арганоідаў клеткі. З бялкоў пабудаваны элементы цыташкілета, скарачальныя элементы мышачных валокан. Пераважна з бялкоў складаюцца храсткі і сухажылле. У іх састаў уваходзіць бялок калаген. Важнейшым структурным кампанентам пер'я, валасоў, ногцяў, рагоў, капытоў у жывёл з'яўляецца бялок кератын. У састаў звязак, сценак артэрый і лёгкіх уваходзіць структурны бялок эластын.

Ферментатыўная (каталітычная) функцыя. Многія бялкі з'яўляюцца ферментамі. **Ферменты** — гэта біялагічныя каталізатары, г. зн. рэчывы, якія паскараюць працяканне хімічных рэакцый у жывых арганізмах. Ферменты ўдзельнічаюць у працэсах сінтэзу і расшчаплення розных рэчываў. Яны забяспечваюць



Мал. 11. Схема работы ферменту

фіксацыю вугляроду ў працэсе фотасінтэзу, расшчапленне пажыўных рэчываў у стрававальным тракце і г. д. Практычна ўсе працэсы жыццядзейнасці, якія працякаюць у арганізме, абумоўлены ферментатыўнымі рэакцыямі.

Ферменты паскараюць хімічныя рэакцыі за кошт цеснага ўзаемадзеяння з малекуламі субстратаў — выходных рэагуючых рэчываў (мал. 11). З субстратам (або субстратамі) узаемадзейнічае не ўся малекула ферменту, а толькі невялікі яе ўчастак — актыўны цэнтр. Часцей за ўсё ён утвораны некалькімі амінакіслотнымі астаткамі. Форма і хімічная будова актыўнага цэнтра такія, што з ім могуць звязвацца толькі пэўныя субстраты з-за адпаведнасці іх прасторавых структур. Інакш кажучы, субстрат па форме падыходзіць да актыўнага цэнтра, як ключ да замка. Далучэнне да актыўнага цэнтра прыводзіць да таго, што малекулы субстрата пэўным чынам размяшчаюцца ў прасторы і дэфармуюцца, у іх структуры аслабляюцца пэўныя хімічныя сувязі. Усё гэта прыводзіць да паскарэння рэакцыі.

На заключным этапе хімічнай рэакцыі фермент-субстратны комплекс распадаецца з вызваленнем канечных прадуктаў і свабоднага ферменту. Вызвалены пры гэтым актыўны цэнтр можа прымаць новыя малекулы субстрата.

Падабенства ферментаў са звычайнымі хімічнымі каталізатарамі праяўляецца ў тым, што і тыя і другія павялічваюць скорасць рэакцыі, але пры гэтым не трацяцца і могуць выкарыстоўвацца шматразова.

У адрозненне ад звычайных хімічных каталізатараў ферменты валодаюць спецыфічнасцю, г. зн. кожны фермент паскарае толькі адну пэўную рэакцыю

або дзейнічае толькі на пэўны тып сувязі. Гэтая асаблівасць тлумачыцца адпаведнасцю актыўнага цэнтра ферменту пэўным субстратам. Ферменты працуюць значна хутчэй (паскараюць рэакцыі ў мільёны і мільярды разоў, а неарганічныя каталізатары — у сотні і тысячы разоў), таму нават у вельмі малых канцэнтрацыях забяспечваюць інтэнсіўнае працяканне каталізуемых рэакцый.

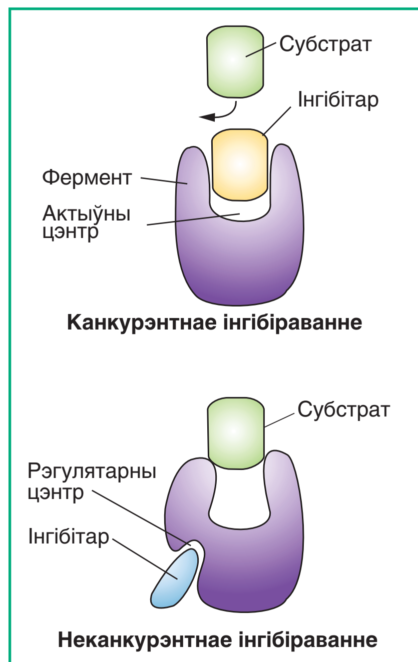
Ферменты з'яўляюцца бялкамі, таму актыўна працуюць толькі ў пэўным дыяпазоне pH, тэмпературы і іншых фактараў. Напрыклад, фермент страўнікавага соку п е п с і н з'яўляецца актыўным толькі ў кіслым асяроддзі, а ферменты сліны а м і л а з а і м а л ь т а з а — у слабашчолачным. Пры павышэнні тэмпературы ўсе хімічныя рэакцыі паскараюцца, а рэакцыі, каталізуемыя ферментамі, запавольваюцца, а затым зусім спыняюцца. Павышэнне тэмпературы, змяненне кіслотнасці асяроддзя і іншых фактараў прыводзіць да дэнатурацыі ферментаў, у выніку чаго яны губляюць здольнасць звязвацца са сваімі субстратамі.

Некаторыя ферменты, акрамя актыўнага цэнтра, маюць адзін або некалькі р э г у л я т а р н ы х ц э н т р а ў. Як з актыўным, так і з рэгулятарным цэнтрамі могуць звязвацца пэўныя рэчывы, якія ўплываюць на актыўнасць ферменту. Рэчывы, якія павышаюць скорасць ферментатыўных рэакцый, называюцца, а к т ы в а т а р а м і (ад лац. *актывус* — дзейны).

Рэчывы, якія зніжаюць або блакіруюць актыўнасць ферментаў, называюцца і н г і б і т а р а м і (ад лац. *інгібеа* — стрымліваю, спыняю). Адрозніваюць некалькі тыпаў інгібіравання, у прыватнасці, канкурэнтнае і неканкурэнтнае (мал. 12).

Канкурэнтнае інгібіраванне выклікаецца рэчывамі, якія па структуры падобны да субстратаў і здольны звязвацца з актыўным цэнтрам ферменту. Пры гэтым малекулы субстрату і інгібітару канкурыруюць за актыўны цэнтр. Канкурэнтныя інгібітары нярэдка выкарыстоўваюцца ў якасці лекавых сродкаў (антыбіётыкі, супрацьпухлінныя прэпараты і інш.).

Неканкурэнтныя інгібітары не маюць структурнага падабенства з субстратам і далучаюцца не да актыўнага цэнтра, а да другіх участкаў ферменту (у прыватнасці, да рэгулятарнага цэнтра).



Мал. 12. Схема інгібіравання ферменту

Ферменты шырока выкарыстоўваюцца ў харчовай прамысловасці (пры вытворчасці сыроў, сокаў, агароднінных і фруктовых пюрэ, у хлебапячэнні, піваварэнні, вінаробстве, для апрацоўкі мяса і г. д.). Іх таксама прымяняюць у сельскай гаспадарцы для атрымання кармоў, у медыцыне для дыягностыкі і лячэння

захворванняў, у тэкстыльнай і гарбарнай прамысловасці для апрацоўкі тканін, скуры і футра, у вытворчасці сінтэтычных мыйных сродкаў і інш.

Транспартная функцыя. Многія бялкі здольны далучаць і пераносіць розныя рэчывы. Гемаглабін звязвае і пераносіць кісларод і вуглякіслы газ. Альбуміны крыві транспартуюць тлустыя кіслоты, глабуліны — іоны металаў і гармоны. Многія бялкі, якія ўваходзяць у састаў цытаплазматычнай мембраны, удзельнічаюць у транспарце рэчываў у клетку і з яе.

Скарачальная (рухальная) функцыя. Скарачальныя бялкі забяспечваюць здольнасць клетак, тканак, органаў і цэлых арганізмаў мяняць форму, рухацца. Так, актын і міязін забяспечваюць работу мышц і нямышачныя ўнутрыклетачныя скарачэнні. Бялок тубулін уваходзіць у састаў мікратрубачак верацяна дзялення, раснічак і жгуцікаў эўкарыятычных клетак.

Рэгулятарная функцыя. Некаторыя пептыды і бялкі з'яўляюцца гармонамі. Яны ўплываюць на розныя фізіялагічныя працэсы. Напрыклад, інсулін і глюкагон рэгулююць утрыманне глюкозы ў крыві, а самататрапін (гармон росту) — працэсы росту і фізічнага развіцця.

Сігнальная функцыя. Некаторыя бялкі клетачных мембран здольны змяняць сваю структуру ў адказ на дзеянне знешніх фактараў. З дапамогай гэтых бялкоў адбываецца прыём сігналаў са знешняга асяроддзя і перадача інфармацыі ў клетку. Прыкладам можа служыць апсін — састаўная частка зрокавага пігменту радапсіну, які знаходзіцца ў клетках сятчаткі вока.

Ахоўная функцыя. Бялкі засцерагаюць арганізм ад уварвання чужародных арганізмаў і ад пашкоджанняў. Так, у адказ на пранікненне чужародных аб'ектаў (антыгенаў) пэўныя лейкацыты выпрацоўваюць спецыфічныя бялкі — імунаглабуліны (антыцелы), якія ўдзельнічаюць у імуннай дзейнасці арганізма. Бялок інтэрферон засцерагае арганізм ад віруснай інфекцыі. Фібрынаген, тромбапластын і трамбін забяспечваюць згусанне крыві, прадухіляюць крывястраты.

Таксічная функцыя. Многія жывыя арганізмы выдзяляюць бялкі-таксіны, якія з'яўляюцца ядамі для другіх арганізмаў. Таксіны сінтэзуюцца ў арганізме шэрага жывёл, грыбоў, раслін, мікраарганізмаў. У сваю чаргу, некаторыя арганізмы здольны выпрацоўваць антытаксіны, якія падаўляюць дзеянне гэтых ядаў.

Энергетычная функцыя. Пасля расшчаплення да амінакіслот бялкі могуць служыць крыніцай энергіі ў клетцы. Пры поўным акісленні 1 г бялка выдзяляецца 17,6 кДж энергіі. Аднак бялкі расходуюцца на энергетычныя патрэбы толькі ў крайніх выпадках, калі вычарпаны запасы вугляводаў і тлушчаў.

Назапашвальная функцыя. У насенні раслін назапашваюцца рэзервовыя бялкі, якія выкарыстоўваюцца пры прарастанні зародкам, а затым і прarосткам як крыніца азоту.

1. Як называецца працэс парушэння прыроднай структуры бялку, пры якім захоўваецца яго першасная структура? Дзеянне якіх фактараў можа прыводзіць да парушэння структуры бялковых малекул?

2. Чым фібрылярныя бялкі адрозніваюцца ад глабулярных? Прывядзіце прыклады фібрылярных і глабулярных бялкоў.

3. Назавіце асноўныя біялагічныя функцыі бялкоў, прывядзіце адпаведныя прыклады.

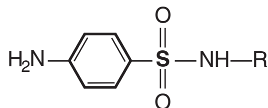
4. Што такое ферменты? Чаму без іх удзелу працяканне большасці біяхімічных працэсаў у клетцы было б немагчымым?

5. У чым заключаецца спецыфічнасць ферментаў? Якая яе прычына? Чаму ферменты актыўна функцыянуюць толькі ў пэўным дыяпазоне тэмпературы, pH і іншых фактараў?

6. Чаму бялкі, як правіла, выкарыстоўваюцца ў якасці крыніц энергіі толькі ў крайніх выпадках, калі ў клетках вычарпаны запасы вугляводаў і тлушчаў?

7. У многіх бактэрый у працэсах сінтэзу рэчываў, неабходных для нармальнага росту і размнажэння, удзельнічае параамінабензойная кіслата (ПАБК). У той жа час у медыцыне для лячэння шэрага бактэрыяльных інфекцый выкарыстоўваюцца сульфаніламіды — рэчывы, па структуры падобныя да ПАБК. Як вы думаеце, на чым заснавана лячэбнае ўздзеянне сульфаніламідаў?

ПАБК



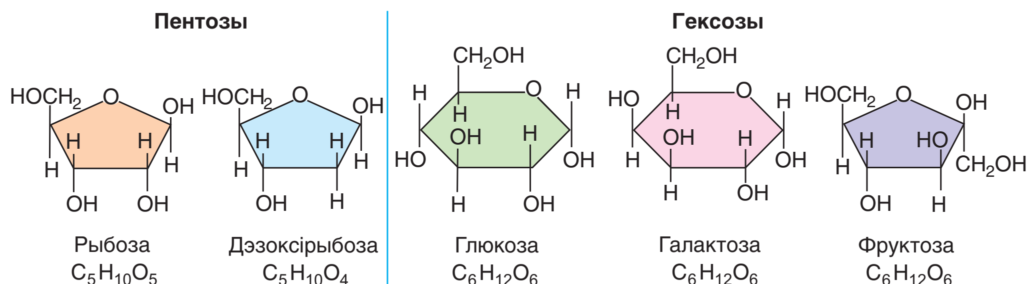
Агульная формула сульфаніламідаў

§ 5. Вугляводы

Вугляводы — арганічныя злучэнні, якія ўтвораны атамамі вугляроду, вадароду і кіслароду. У малекулах многіх вугляводаў вадарод і кісларод утрымліваюцца ў такіх жа суадносінах, як і ў вадзе (2 : 1). Адсюль і іх назва — **вугляводы**. Састаў большасці вугляводаў можна выразіць формулай $C_n(H_2O)_m$, дзе n і m роўныя тром і больш. Разам з тым ёсць вугляводы, у якіх суадносіны ўказаных у формуле хімічных элементаў іншыя, а некаторыя, акрамя таго, утрымліваюць атамы азоту, фосфару або серы.

Вугляводы ўваходзяць у састаў усіх жывых арганізмаў. У клетках жывёл утрыманне вугляводаў не перавышае 10 % сухой масы, у клетках раслін іх значна больш — да 90 %.

Выдзяляюць тры класы вугляводаў: м о н а ц у к р ы д ы, а л і г а ц у к р ы д ы і п о л і ц у к р ы д ы. ***Монацукрыды*** (ад грэч. *монас* — адзін) — бясколерныя крышталічныя рэчывы, якія добра растварающца ў вадзе і маюць салодкі смак. Па колькасці атамаў вугляроду ў саставе малекул монацукрыды дзеляцца на некалькі груп, важнейшымі з якіх з'яўляюцца пяцівугляродныя (C_5) — п е н т о з ы і шасцівугляродныя (C_6) — г е к с о з ы.



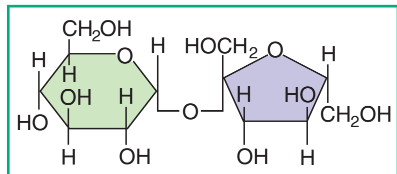
Мал. 13. Монацукрыды

Найбольшае значэнне для жывых арганізмаў маюць такія пентозы, як **рыбоза** і **дэзоксірыбоза** (мал. 13). Рыбоза ўваходзіць у састаў важнейшых злучэнняў клеткі — РНК (рыбануклеінавай кіслаты), АТФ, вітаміну B_2, шэрага ферментаў. Дэзоксірыбоза ўваходзіць у састаў ДНК (дэзоксірыбануклеінавай кіслаты).

Важную біялагічную ролю іграюць гексозы — **глюкоза, фруктоза, галактоза** (гл. рыс. 13). Глюкоза — асноўная крыніца энергіі для клетак, яна змяшчаецца ў клетках усіх жывых арганізмаў. Фруктоза ў свабодным выглядзе прысутнічае ў вакуолях клетак раслін. Шмат фруктозы змяшчаецца ў ягадах, фруктах, мёдзе.

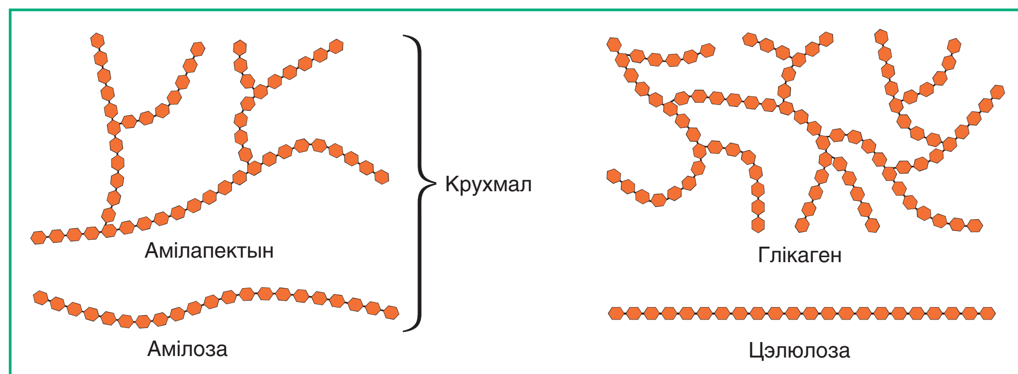
Алігацукрыды (ад грэч. *алігас* — нямнога) — злучэнні, якія складаюцца з 2—10 астаткаў монацукрыдаў, паслядоўна злучаных кавалентнымі сувязямі. У састаў малекул алігацукрыдаў могуць уваходзіць астаткі аднаго або розных монацукрыдаў. Большасць алігацукрыдаў, выдзеленых у чыстым выглядзе, як і монацукрыды, — бясколерныя крышталічныя злучэнні, добра растваральныя ў вадзе і салодкія на смак.

Алігацукрыды, у састаў якіх уваходзяць два астаткі монацукрыдаў, называюць дыцукрыдамі. Найбольш важныя дыцукрыды — **цукроза** (трасніковы або бурачны цукар) (мал. 14), **мальтоза** (соладавы цукар), **лактоза** (малочны цукар). У раслінах цукроза служыць растваральным рэзервовым вугляводам, а таксама транспартнай формай прадуктаў фотасінтэзу, якая лёгка пераносіцца па расліне. Мальтоза ў вялікай колькасці змяшчаецца ў прарастаючым насенні злакаў. Лактоза з'яўляецца важнейшым вугляводным кампанентам малака млекакормячых.



Мал. 14. Структурная формула цукрозы ($C_{12}H_{22}O_{11}$)

Поліцукрыды (ад грэч. *поліс* — многа) — біяпалімеры, малекулы якіх складаюцца з вялікай колькасці (да некалькіх тысяч) астаткаў



Мал. 15. Схемы будовы малекул поліцукрыдаў (⬢ — астатак малекулы глюкозы)

монацукрыдаў. У састаў поліцукрыду могуць уваходзіць астаткі аднаго ці розных монацукрыдаў. У адрозненне ад мона- і алігацукрыдаў поліцукрыды практычна нерастваральныя ў вадзе і не маюць салодкага смаку.

Поліцукрыды могуць мець лінейную, неразгалінаваную (цэлюлоза, хіцін), або разгалінаваную (глікаген) структуру. Крухмал уяўляе сабой сумесь поліцукрыдаў — прыкладна на 80 % (па масе) ён складаецца з разгалінаванага амілапектыну і на 20 % з лінейнага поліцукрыду амілозы (мал. 15). Поліцукрыды адрозніваюцца паміж сабой саставам манамераў, даўжынёй і ступенню разгалінаванасці ланцугоў. Найбольш важнымі поліцукрыдамі з'яўляюцца крухмал, глікаген і цэлюлоза.

Крухмал сінтэзуецца ў клетках раслін і складаецца з астаткаў глюкозы (гл. мал. 15). У значнай колькасці крухмал назапашваецца ў насенні, клубнях, лістах і іншых органах. Асабліва высокае ўтрыманне крухмалу ў насенні зерневых культур — *жыта, пшаніцы, рысу, кукурузы* (да 80 % сухой масы), клубнях *бульбы* (каля 25 %). Крухмал адкладваецца ў клетках у выглядзе так званых крухмальных зярнят.

У *грыбоў, жывёл* і *чалавека* рэзервовым (запасным) поліцукрыдам з'яўляецца **глікаген**. Як і крухмал, глікаген пабудаваны з астаткаў глюкозы, але яго ланцугі разгаліноўваюцца яшчэ мацней (гл. мал. 15). Ён адкладваецца ў асноўным у мышцах і клетках печані ў выглядзе маленькіх гранул.

У абалонках клетак раслін (клетачных сценках) утрымліваецца **цэлюлоза** — трывалы, валакністы, нерастваральны ў вадзе поліцукрыд. Драўніна, валокны бавоўны складаюцца ў асноўным з цэлюлозы. Цэлюлоза, як ужо адзначалася, уяўляе сабой неразгалінаваны палімер глюкозы (гл. мал. 15).

Цэлюлоза іграе важную ролю ў прамысловасці. З яе выпрацоўваюць баваўняныя тканіны, паперу і многае іншае.

Акрамя таго, што цэлюлоза з’яўляецца адным са структурных кампанентаў клетачных абалонак, яна служыць ежай для некаторых жывёл, грыбоў і мікраарганізмаў. Фермент ц э л ю л а з а, які расшчапляе цэлюлозу да глюкозы, выпрацоўваецца толькі некаторымі групамі арганізмаў (*бактэрыі, грыбы,* некаторыя *пратысты*). Таму ў арганізме большасці жывёл цэлюлоза не можа выкарыстоўвацца як пажыўнае рэчыва, хоць яна ўяўляе сабой практычна невычарпальную і патэнцыяльна каштоўную крыніцу глюкозы.

Аднак у многіх траваедных жывёл у стрававальным тракце ў якасці сімбіёнаў жывуць бактэрыі і пратысты, якія выпрацоўваюць фермент, што расшчапляе цэлюлозу. Мікраарганізмы, здольныя расшчапляць цэлюлозу, уваходзяць таксама ў састаў мікрафлоры тоўстага кішэчніка чалавека.

У састаў кутыкулы *членістаногіх*, клетачных абалонак многіх *грыбоў* і некаторых *пратыстаў* уваходзіць поліцукрыд **хіцін**. Паводле структуры ён падобны да цэлюлозы, аднак у саставе малекул змяшчае не толькі вуглярод, вадарод і кісларод, але і азот.

Функцыі вугляводаў. У жывых арганізмах вугляводы выконваюць розныя функцыі, але асноўнымі з’яўляюцца энергетычная, назапашвальная і структурная.

Энергетычная функцыя заключаецца ў тым, што вугляводы пад уплывам ферментаў лёгка расшчапляюцца і акісляюцца з выдзяленнем энергіі. Пры поўным акісленні 1 г вугляводаў вызваляецца 17,6 кДж энергіі. Канечныя прадукты акіслення вугляводаў — вуглякіслы газ і вада. Значная роля вугляводаў у энергетычным абмене жывых арганізмаў звязана з іх здольнасцю расшчапляцца як пры наяўнасці кіслароду, так і без яго. Гэта мае важнейшае значэнне для арганізмаў, якія жывуць ва ўмовах дэфіцыту кіслароду.

Назапашвальная функцыя заключаецца ў тым, што поліцукрыды з’яўляюцца запаснымі пажыўнымі рэчывамі жывых арганізмаў, іграюць ролю «захавальніка» энергіі. Запасным (рэзервовым) вугляводам у *раслін* з’яўляецца крухмал, у *жывёл* і *грыбоў* — глікаген. Пры неабходнасці гэтыя поліцукрыды расшчапляюцца да глюкозы, якая служыць асноўнай крыніцай энергіі для жывых арганізмаў.

Структурная функцыя вугляводаў заключаецца ў тым, што яны выкарыстоўваюцца ў якасці будаўнічага матэрыялу. Абалонкі клетак раслін у сярэднім на 20—40 % складаюцца з цэлюлозы, якая валодае высокай трываласцю. Таму надзейна ахоўваюць унутрыклетачнае змесціва і падтрымліваюць форму клетак. Хіцін, як ужо гаварылася, з’яўляецца важным структурным кампанентам вонкавага шкілета *членістаногіх*, клетачных абалонак *грыбоў* і некаторых *пратыстаў*.

Аліга- і поліцукрыды ўваходзяць у састаў цытаплазматычнай мембраны клетак *жывёл* і ўтвараюць надмембранны комплекс — г л і к а к а л і к с. Вугляводныя кампаненты цытаплазматычнай мембраны выконваюць **рэцэпторную** функцыю: яны ўспрымаюць сігналы з навакольнага асяроддзя і перадаюць іх у клетку.

Метабалічная функцыя вугляводаў заключаецца ў тым, што монацукрыды ў клетках жывых арганізмаў з’яўляюцца асновай для сінтэзу многіх арганіч-

ных рэчываў — аліга- і поліцукрыдаў, нуклеатыдаў, шэрага спіртоў. Некаторыя рэчывы, якія ўтвараюцца ў ходзе расшчаплення малекул монацукрыдаў, могуць выкарыстоўвацца клеткамі для сінтэзу амінакіслот, тлустых кіслот і іншых рэчываў.

Вугляводы выконваюць таксама **ахоўную** функцыю. Так, камедзі (смолы, якія выдзяляюцца пры пашкоджанні дрэў, напрыклад, *вішань* і *сліў*) з'яўляюцца вытворнымі монацукрыдаў. Яны перашкаджаюць пранікненню ў раны хваробатворных мікраарганізмаў.

1. Якія рэчывы з'яўляюцца монацукрыдамі? Алігацукрыдамі? Поліцукрыдамі?

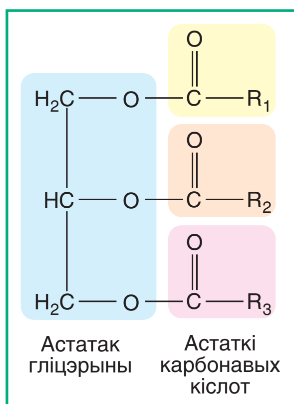
а) Лактоза; г) глюкоза; ж) цэлюлоза;
б) глікаген; д) рыбоза; з) фруктоза;
в) мальтоза; е) хіцін; і) цукроза.

2. Якія біялагічныя функцыі выконваюць монацукрыды? Дыцукрыды? Прывядзіце прыклады.
3. Чым абумоўлена разнастайнасць алігацукрыдаў і поліцукрыдаў?
4. Як мяняецца смак вугляводаў і іх раствральнасць у вадзе з павелічэннем малекулярнай масы?
5. Чаму прамарожаная бульба хутка пасля адтавання набывае салодкі смак?
6. Параўнайце па розных прыметах крухмал, цэлюлозу і глікаген. У чым праяўляецца іх падобнасць? У чым заключаюцца адрозненні?
7. Чаму глюкоза ў арганізме жывёл і чалавека захоўваецца ў форме глікагену, а не ў выглядзе ўласнай глюкозы, хоць сінтэз глікагену патрабуе дадатковых затрат энергіі?
8. Крухмал у клетках раслін і глікаген у клетках жывёл выконваюць адну і тую ж функцыю — назапашвання. Асноўны кампанент крухмалу — разгалінаваны поліцукрыд амілапектын. Глікаген падобны да амілапектыну, аднак мае меншую малекулярную масу і больш разгалінаваную структуру. Якое біялагічнае значэнне ўказаных асаблівасцей глікагену?

§ 6. Ліпіды

Ліпіды (ад грэч. *ліпас* — тлушч) — вялікая група тлушчаў і тлушчападобных рэчываў, якія ўтрымліваюцца ў клетках усіх жывых арганізмаў. Большасць з іх непалярная і, такім чынам, гідрафобная. Яны практычна нераствральныя ў вадзе, але добра раствараюцца ў арганічных растваральніках (бензіне, хлараформе, эфіры і інш.).

У жывых арганізмах утрыманне ліпідаў складае ад 5 да 15 % сухой масы. У клетках тлушчавай тканкі яно дасягае 90 %. Высокае ўтрыманне ліпідаў характэрна для нервовай тканкі, падскурнай клятчаткі, малака млекакормячых. Шмат тлушчаў змяшчаецца ў насенні і пладах некаторых раслін (*сланечніка, грэцкага*



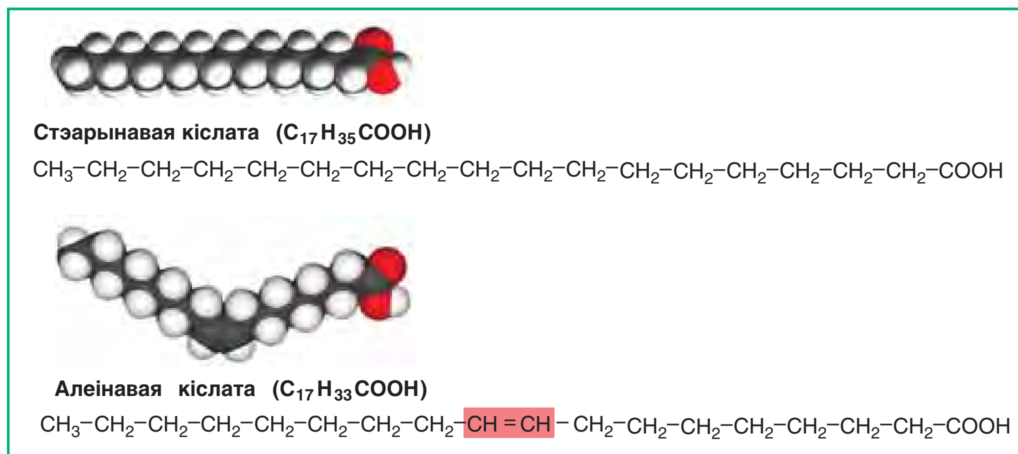
Мал. 16. Схема будовы малекулы тлушчу

арэха, масліны, лёну, клешчавіны, рапсу, соі, кукурузы). Гэтыя расліны выкарыстоўваюцца для прамысловага атрымання алеяў.

Па хімічнай будове ліпіды вельмі разнастайныя. Разгледзім важнейшыя групы ліпідаў. **Тлушчы** — найбольш простыя і шырока распаўсюджаныя ліпіды. Іх малекулы ўтвараюцца ў выніку далучэння да малекулы спірту гліцэрыны трох астаткаў карбонавых кіслот (часцей за ўсё — вышэйшых), якія могуць быць аднолькавымі або рознымі (мал. 16).

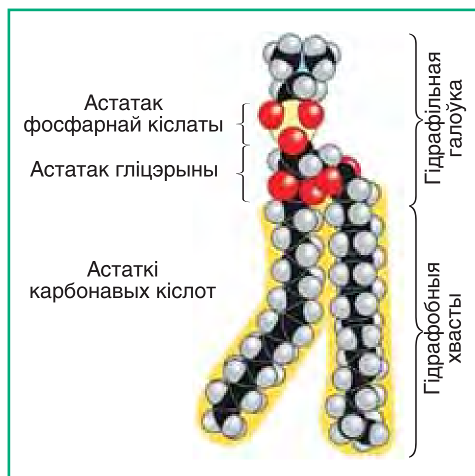
Атамы вугляроду ў малекулах карбонавых кіслот могуць быць злучаны адзін з другім як простымі, так і двайнымі сувязямі. У першым выпадку кіслоты называюцца гранічнымі або насычанымі. Калі ж ёсць двайныя сувязі, то гэта кіслоты негранічныя або ненасычаныя. Сярод гранічных карбонавых кіслот найбольш часта ў састаў тлушчаў уваходзяць пальміцінавая і стэарынавая, сярод негранічных — алеінавая, ліналевая і ліналенавая кіслоты (мал. 17).

Даўжыня вугляродных ланцугоў і колькасць двайных сувязей у астатках карбонавых кіслот вызначаюць фізічныя ўласцівасці таго або іншага тлушчу. Для тлушчаў з кароткімі і (або) ненасычанымі ланцугамі характэрна нізкая тэмпература плаўлення. Пры пакаёвай тэмпературы яны маюць вадкую або мазепадобную кансістэнцыю. І наадварот, тлушчы з доўгімі і насычанымі ланцугамі пры



Мал. 17. Будова малекул стэарынавай і алеінавай кіслот

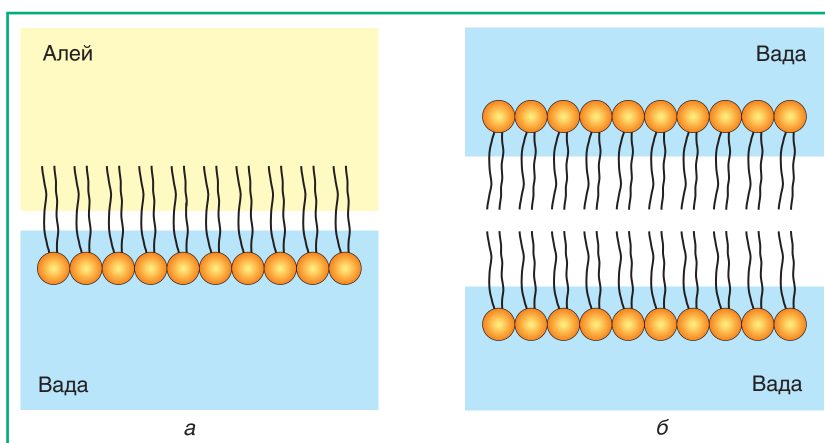
пакаёвай тэмпературы ўяўляюць сабой цвёрдыя рэчывы. У жывёл, якія жывуць у халодным клімаце (напрыклад, у *рыб* арктычных мораў), тлушчы звычайна ўтрымліваюць больш астаткаў ненасычаных кіслот, чым у насельнікаў паўднёвых шырот. Па гэтай прычыне іх тлушч застаецца вадкім і пры нізкіх тэмпературах, а цела захоўвае гнуткасць.



Мал. 18. Будова малекулы фосфаліпіду

Фосфаліпіды па структуры падобныя да тлушчаў, але ў іх малекуле адзін астатак карбонавай кіслаты замешчаны радыкалам, які ўтрымлівае астатак фосфарнай кіслаты (мал. 18). Фосфаліпіды з'яўляюцца асноўным кампанентам клетачных мембран.

Малекула фосфаліпіду складаецца з дзвюх частак, розных па сваёй растваральнасці ў вадзе: палярнай гідрафільнай галоўкі і гідрафобных хвастоў — непалярных вуглевадародных ланцугоў карбонавых кіслот (гл. мал. 18). На малюнку 19 паказана арыентацыя малекул фосфаліпідаў у розных асяроддзях. Такая прырода фосфаліпідаў абумоўлівае іх ключавую ролю ў фарміраванні структуры біялагічных мембран, якія мы разгледзім пазней.



Мал. 19. Арыентацыя малекул фосфаліпідаў на граніцы вада — алей (*а*) і ў вадзе (*б*)

Да ліпідаў адносяцца таксама воскі, якія выконваюць у арганізме жывёл і раслін у асноўным ахоўную функцыю.

> У млекакормячых воскі ўваходзяць у састаў сакрэту, выдзяляемага сальнымі залозамі скуры. Сакрэт сальных залоз змазвае скуру і валасы, робячы іх эластычнымі і памяншаючы змошвальнасць валасянога покрыва. У птушак воскі, сакратуемыя копчыкавай залозай, надаюць пер'ю водаадштурхоўваючыя ўласцівасці.
>
> Васковы слой пакрывае лісты наземных раслін (васковая кутыкула) і паверхню цела наземных членістаногіх, ахоўваючы ад празмернага выпарвання вады.
>
> Воскі — складаныя эфіры аднаатамных высокамалекулярных (якія маюць доўгі вугляродны шкілет) спіртоў і вышэйшых карбонавых кіслот. У жывёл воскі таксама ўваходзяць у састаў галаўнога мозга, лімфатычных вузлоў, селязёнкі. Воск, які ўтвараюць пчолы, выкарыстоўваецца для будаўніцтва сотаў.

Яшчэ адну групу ліпідаў складаюць **стэроіды**. Іх малекулы не ўтрымліваюць астаткаў карбонавых кіслот. Стэроідамі з'яўляюцца, напрыклад, жоўцевыя кіслоты (важнейшыя кампаненты жоўці) і стэроідныя гармоны (палавыя гармоны, гармоны кары наднырачнікаў — корцікастэроіды).

Выключна важную ролю ў арганізме чалавека і жывёл іграе халестэрын. Ён неабходны для сінтэзу жоўцевых кіслот, стэроідных гармонаў, вітаміну D. Акрамя таго, халестэрын уваходзіць у састаў біялагічных мембран, забяспечвае іх стабільнасць і рэгулюе пранікальнасць.

Аднак павышанае ўтрыманне халестэрыну ў арганізме можа выклікаць развіццё шэрага захворванняў, асабліва сардэчна-сасудзістых. Халестэрын можа адкладвацца на ўнутраных сценках крывяносных сасудаў, з-за чаго іх прасвет звужваецца. Гэта прыводзіць да парушэння кровазабеспячэння тканак і органаў, у першую чаргу сардэчнай мышцы, павышаецца рызыка інфаркту міякарда, інсульту, іншых ускладненняў. Да фактараў, якія павышаюць узровень халестэрыну, адносяцца: курэнне, недастатковая фізічная актыўнасць, няправільнае харчаванне (пераяданне, лішак тлушчаў у ежы) і інш.

Ліпіды здольны ўтвараць складаныя злучэнні з рэчывамі іншых класаў, напрыклад, з бялкамі — ліпапратэіны, з вугляводамі — глікаліпіды.

Функцыі ліпідаў. Адна з асноўных функцый ліпідаў — **энергетычная**. Пры поўным акісленні 1 г тлушчаў да вуглякіслага газу і вады выдзяляецца каля 39 кДж энергіі, што намнога больш у параўнанні з поўным акісленнем такой жа колькасці вугляводаў. Гэта дае магчымасць жывёлам, якія ўпадаюць у спячку, расходаваць назапашаныя летам і восенню тлушчавыя запасы для падтрымання працэсаў жыццядзейнасці ў зімовы перыяд. Высокае ўтрыманне ліпідаў у насенні раслін забяспечвае энергіяй развіццё зародка і парастка, пакуль ён не пяройдзе да самастойнага жыўлення.

Акрамя таго, пры акісленні 1 г тлушчаў утвараецца 1,05—1,1 г вады, таму дзякуючы запасам тлушчу некаторыя жывёлы могуць доўгі час абыходзіцца без яе. Напрыклад, *вярблюды* ў пустыні вытрымліваюць без вады 10—12 сутак, *мядзведзі* і іншыя жывёлы падчас зімовай спячкі — больш за два месяцы. Неабходную для жыццядзейнасці ваду гэтыя жывёлы атрымліваюць менавіта ў выніку акіслення назапашаных тлушчаў.

Важнай функцыяй ліпідаў з’яўляецца **будаўнічая (структурная).** Фосфаліпіды, халестэрын, ліпапратэіны, глікаліпіды — важнейшыя кампаненты клетачных мембран.

Ахоўная функцыя ліпідаў заключаецца ў тым, што яны ахоўваюць унутраныя органы жывёл ад механічных пашкоджанняў (напрыклад, ныркі *чалавека* пакрыты тлушчавым слоем, які ахоўвае іх ад траўмаў, страсення пры хадзьбе і скачках).

Назапашваючыся ў падскурнай тлушчавай клятчатцы *жывёл*, тлушчы выконваюць **цеплаізаляцыйную функцыю**. Так, у *сіняга кіта* таўшчыня падскурнага тлушчавага слоя можа перавышаць 50 см.

Рэгулятарная функцыя. Палавыя гармоны і корцікастэроіды рэгулююць працэсы развіцця і размнажэння, абмену рэчываў. Вітаміны групы D, якія з’яўляюцца вытворнымі халестэрыну, іграюць важную ролю ў абмене кальцыю і фосфару. Жоўцевыя кіслоты ўдзельнічаюць у страваванні: яны забяспечваюць эмульгіраванне тлушчаў ежы і ўсмоктванне прадуктаў іх расшчаплення.

?

1. Што ўяўляюць сабой ліпіды? Да якой групы адносіцца большасць ліпідаў — да гідрафільных ці да гідрафобных рэчываў?

2. У якіх клетках (тканках, органах) раслін і жывёл утрымліваецца больш за ўсё ліпідаў?

3. Пералічыце групы ліпідаў. Якія асноўныя біялагічныя функцыі характэрны для кожнай групы?

4. Чаму пры пакаёвай тэмпературы адны тлушчы цвёрдыя, а другія маюць вадкую кансістэнцыю? Прывядзіце прыклады цвёрдых і вадкіх тлушчаў.

5. Выявіце падабенства і адрозненні ў структуры і ўласцівасцях тлушчаў і фосфаліпідаў.

6. Многія жывёлы, якія жывуць ва ўмовах халоднага клімату, маюць тоўстую падскурную тлушчавую клятчатку. Некаторыя насельнікі стэпаў і пустынь таксама ўзмоцнена назапашваюць падскурны тлушч. Якія функцыі выконваюць тлушчы ў арганізме гэтых жывёл?

7. Чаму пры акісленні тлушчаў вызваляецца больш энергіі, чым пры акісленні такой жа колькасці вугляводаў?

8. Утрыманне запасных вугляводаў у клетках раслін можа дасягаць 90 % сухой масы. У арганізме жывёл асноўныя запасы захоўваюцца ў выглядзе тлушчаў. Чым гэта можна растлумачыць?

§ 7. Нуклеінавыя кіслоты

Усе жывыя арганізмы здольны захоўваць спадчынную інфармацыю і перадаваць яе нашчадкам пры размнажэнні. Гэтую функцыю выконваюць **нуклеінавыя кіслоты.**

Упершыню нуклеінавыя кіслоты адкрыў швейцарскі біяхімік Ф. Мішэр у 1868 г. У ходзе даследаванняў вучоны выявіў і выдзеліў іх з ядраў лейкацытаў *чалавека* і сперматазоідаў *ласося*. Ад слова «ядро» (ад лат. *нуклеус*) і паходзіць назва «нуклеінавыя кіслоты».

Пазней нуклеінавыя кіслоты былі выяўлены ва ўсіх клетках *раслін, жывёл, грыбоў, пратыстаў, бактэрый* і нават у *вірусах*. Малекулы нуклеінавых кіслот утрымліваюцца не толькі ў ядры, але і ў цытаплазме клетак, у саставе некаторых арганізмаў.

Нуклеінавыя кіслоты — самыя буйныя з малекул жывых арганізмаў. Іх адносная малекулярная маса можа быць ад некалькіх тысяч да некалькіх мільёнаў.

Нуклеінавыя кіслоты — складаныя біяпалімеры, манамерамі якіх з'яўляюцца нуклеатыды.

Будова нуклеатыдаў і ўтварэнне полінуклеатыдаў. Кожны нуклеатыд складаецца з азоцістай асновы, пяцівугляроднага цукру (пентозы) і астатку фосфарнай кіслаты (мал. 20).

У састаў нуклеатыду можа ўваходзіць адна з пяці азоцістых асноў: адэнін (А), гуанін (Г), цытазін (Ц), тымін (Т) або ўрацыл (У). Адэнін і гуанін адносяцца да пурынавых асноў, цытазін, тымін і ўрацыл — да пірымідзінавых. Звярніце ўвагу, што ў малекуле нуклеатыду азоцістая аснова далучана да першага атама вугляроду пентозы, а астатак фосфарнай кіслаты — да пятага.

Фарміраванне лінейнага полінуклеатыднага ланцуга адбываецца шляхам злучэння пентозы аднаго нуклеатыда з астаткам фосфарнай кіслаты другога нуклеатыда (мал. 21).

У залежнасці ад віду пяцівугляроднага цукру ў саставе нуклеатыдаў адрозніваюць два тыпы нуклеінавых кіслот: **дэзоксірыбануклеінавыя (ДНК)** і **рыбануклеінавыя (РНК)**.

У састаў нуклеатыдаў ДНК уваходзіць астатак дэзоксірыбозы, а нуклеатыды РНК утрымліваюць астатак рыбозы. Акрамя таго, азоцістая аснова тымін (Т) можа ўваходзіць толькі ў састаў нуклеатыдаў ДНК, а ўрацыл (У) сустракаецца толькі ў саставе нуклеатыдаў РНК. Такім чынам, як у састаў ДНК, так і ў састаў РНК уваходзіць па чатыры тыпы нуклеатыдаў.

Будова і функцыі ДНК. Малекула ДНК складаецца з двух полінуклеатыдных ланцугоў, злучаных паміж сабой вадароднымі сувязямі *(на малюнках*

Пурынавыя асновы

Адэнін

Гуанін

Пірымідзінавыя асновы

Цытазін

Тымін (у ДНК)

Урацыл (у РНК)

Азоцістая асноўа

Астатак фосфарнай кіслаты

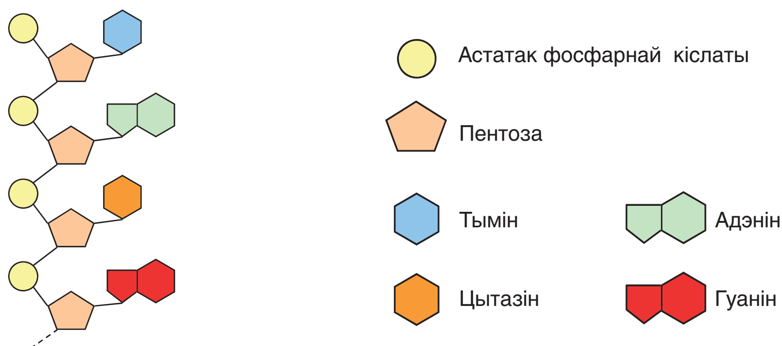
Пентоза

$O=P(OH)_2-O-$

Рыбоза (у РНК)

Дэзоксірыбоза (у ДНК)

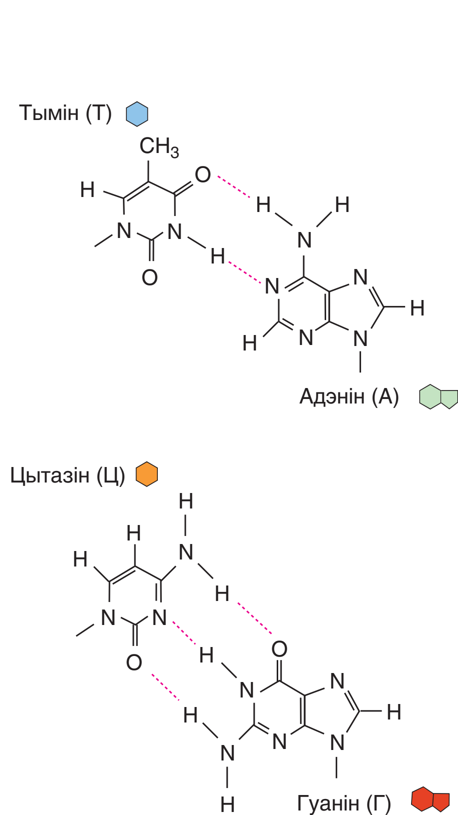
Мал. 20. Схема будовы нуклеатыду



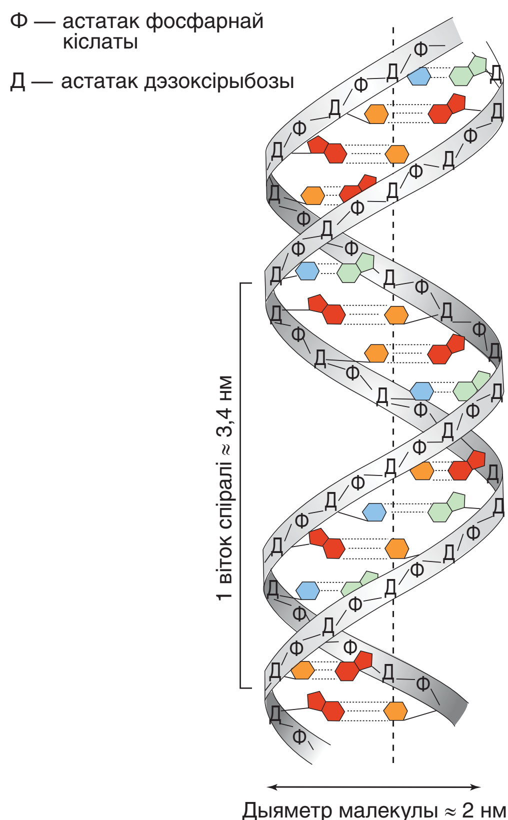
Мал 21. Схема будовы полінуклеатыднага ланцуга

паказаны пункцірам). Гэтыя сувязі ўзнікаюць паміж азоцістымі асновамі нуклеатыдаў супрацьлеглых ланцугоў: паміж адэнінам і тымінам узнікаюць дзве вадародныя сувязі, а паміж гуанінам і цытазінам — тры (мал. 22). Нуклеатыды ўтвараюць пары, узаемна дапаўняючы адзін аднаго. Гэтая адпаведнасць парных нуклеатыдаў называецца **камплементарнасцю** (ад лац. *камплементум* — дапаўненне). Такім чынам, ланцугі ДНК камплементарныя — паслядоўнасць нуклеатыдаў у адным ланцугу вызначае іх паслядоўнасць у другім, што ляжыць у аснове фарміравання прасторавай структуры малекулы ДНК.

Два полінуклеатыдныя ланцугі ДНК закручаны вакол агульнай восі, ствараючы двайную спіраль дыяметрам каля 2 нм, якая нагадвае вітую лесвіцу (мал. 23). Адзін віток спіралі ўключае 10 пар нуклеатыдаў, яго даўжыня 3,4 нм.



Мал. 22. Схема ўтварэння камплементарных пар азоцістых асноў



Мал. 23. Структура малекулы ДНК

Уотсан Джэймс Дзьюі (нар. 1928) — амерыканскі біяхімік. У 1953 г. прадставіў распрацаваную сумесна з Ф. Крыкам мадэль двайной спіралі ДНК. Лаўрэат Нобелеўскай прэміі (1962).

У спіральнай малекуле двухланцужковай ДНК азоцістыя асновы знаходзяцца ўнутры спіралі.

Функцыяй ДНК з'яўляецца захоўванне спадчыннай (генетычнай) інфармацыі, а таксама перадача гэтай інфармацыі нашчадкам. У ДНК любой клеткі закадзіравана інфармацыя аб структуры ўсіх бялкоў дадзенага арганізма.

Расшыфроўка структуры ДНК мае сваю перадгісторыю. У 1950 г. амерыканскі вучоны Э. Чаргаф і яго калегі даследавалі састаў малекулы ДНК і вызначылі наступныя заканамернасці, пазней названыя правіламі Чаргафа.

1. Колькасць адэнілавых нуклеатыдаў у малекуле ДНК роўна колькасці тымідылавых (А = Т), а колькасць гуанілавых — колькасці цытыдылавых (Г = Ц).

2. Колькасць пурынавых азоцістых асноў роўна колькасці пірымідынавых (А + Г = Т + Ц).

3. Сумарная колькасць адэнілавых і цытыдылавых нуклеатыдаў роўна сумарнай колькасці тымідылавых і гуанілавых нуклеатыдаў (А + Ц = Т + Г), што вынікае з першага правіла.

Гэта адкрыццё садзейнічала ўстанаўленню прасторавай структуры ДНК і вызначэнню яе ролі ў перадачы спадчыннай інфармацыі ад аднаго пакалення да другога. У 1953 г. на аснове правіл Чаргафа і даных аб прасторавай структуры малекулы ДНК, атрыманых англійскім біяфізікам М. Уілкінсам, амерыканскі вучоны Дж. Уотсан і англічанін Ф. Крык прапанавалі трохмерную мадэль структуры ДНК, якая атрымала назву «двайной спіралі» (гл. мал. 23). За распрацоўку мадэлі малекулы ДНК Дж. Уотсан, Ф. Крык і М. Уілкінс у 1962 г. былі ўдастоены Нобелеўскай прэміі.

Крык Фрэнсіс Хары Комптан (1916—2004) — англійскі біяфізік і генетык. У 1953 г. сумесна з Дж. Уотсанам распрацаваў мадэль малекулы ДНК (двайную спіраль), што паклала пачатак малекулярнай генетыцы. Лаўрэат Нобелеўскай прэміі (1962).

Пры змяненні ўмоў (напрыклад, пры павышэнні тэмпературы) ДНК можа падвяргацца дэнатурацыі — плаўленню. Пры гэтым вадародныя сувязі паміж азоцістымі асновамі разрываюцца і камплементарныя ланцугі аддзяляюцца адзін ад другога. Малекулы ДНК, у якіх пераважаюць Г—Ц пары, характарызуюцца бо́льшым утрыманнем вадародных сувязей, чым малекулы з перавагай А—Т пар, таму плавяцца пры больш жорсткіх умовах. Дэнатурацыя ДНК, як правіла, носіць абарачальны характар.

Будова і функцыі РНК. Будова малекул РНК у многім падобна да будовы малекул ДНК. Аднак ёсць і шэраг істотных адрозненняў. Як вы ўжо ведаеце, у малекулах РНК замест дэзоксірыбозы ў састаў нуклеатыдаў уваходзіць рыбоза, а замест тыміну (Т) — урацыл (У). Аднак галоўнае адрозненне заключаецца ў тым, што малекулы РНК адна元ланцуговыя. Нуклеатыды ланцуга РНК здольны ўтвараць вадародныя сувязі паміж сабой, але ў гэтым выпадку размова ідзе аб унутрымалекулярным узаемадзеянні камплементарных нуклеатыдаў. Малекулы РНК значна карацейшыя за ДНК.

У клетцы існуе некалькі відаў РНК, якія адрозніваюцца па велічыні малекул, структуры і функцыях. Усе віды РНК сінтэзуюцца на пэўных участках аднаго з ланцугоў ДНК. Такі сінтэз атрымаў назву матрычнага, паколькі малекула ДНК з’яўляецца матрыцай (г. зн. узорам, мадэллю) для сінтэзу малекул РНК.

Рыбасомныя РНК (рРНК) складаюць 80 % усіх РНК клеткі. Малекулы рРНК злучаюцца з асобымі бялкамі і ўтвараюць рыбасомы — арганоіды, на якіх адбываецца сінтэз бялкоў з амінакіслот.

Транспартныя РНК (тРНК) складаюць каля 15 % усіх клетачных РНК. Малекулы тРНК параўнальна невялікія (у сярэднім складаюцца з 80 нуклеатыдаў). Усе яны маюць падобную прасторавую канфігурацыю. Дзякуючы фарміраванню ўнутрымалекулярных вадародных сувязей малекулы тРНК набываюць характэрную прасторавую структуру, якую называюць канюшынавым лістом (гл. мал. 67 на с. 119). Функцыя тРНК — перанос амінакіслот да рыбасомаў і ўдзел у працэсе сінтэзу бялку.

Інфармацыйныя, або **матрычныя РНК (іРНК, мРНК)** найбольш разнародныя па размерах і структуры. Малекулы іРНК утрымліваюць інфармацыю аб структуры пэўных бялкоў. У ходзе сінтэзу бялкоў на рыбасомах яны служаць матрыцамі, таму біясінтэз бялку таксама адносіцца да матрычных працэсаў. Утрыманне іРНК складае 3—5 % усёй клетачнай РНК.

Функцыі ўсіх тыпаў РНК звязаны з працэсамі сінтэзу бялку. Такім чынам, ДНК з’яўляецца захавальнікам інфармацыі аб структуры ўсіх бялкоў, а РНК забяспечвае рэалізацыю гэтай інфармацыі, удзельнічаючы ў працэсе біясінтэзу бялкоў на рыбасомах.

? **1.** Якія тыпы нуклеінавых кіслот існуюць? Што з'яўляецца манамерамі нуклеінавых кіслот?

а) Азоцістыя асновы;
б) амінакіслоты;
в) РНК;
г) ДНК;
д) монацукрыды;
е) нуклеатыды;
ж) фосфарная кіслата.

2. Апішыце будову нуклеатыда. Якім чынам могуць злучацца нуклеатыды ў малекуле ДНК?

3. Вызначана паслядоўнасць нуклеатыдаў аднаго з ланцугоў ДНК: ЦТГАГТТЦА. Вызначыце парадак нуклеатыдаў камплементарнага ланцуга.

4. Ахарактарызуйце прасторавую структуру малекулы ДНК.

5. Якія тыпы РНК утрымліваюцца ў клетцы? Параўнайце іх па выконваемых функцыях, асаблівасцях будовы і працэнтнаму ўтрыманню ад агульнай колькасці РНК у клетцы.

6. Параўнайце па розных прыметах ДНК і РНК. Выявіце рысы іх падабенства і адрознення.

7. Фрагмент малекулы ДНК змяшчае 126 адэнілавых нуклеатыдаў (А), што складае 18 % ад агульнай колькасці нуклеатыдаў у гэтым фрагменце. Якая даўжыня данага фрагмента ДНК і колькі цытыдылавых нуклеатыдаў (Ц) ён змяшчае?

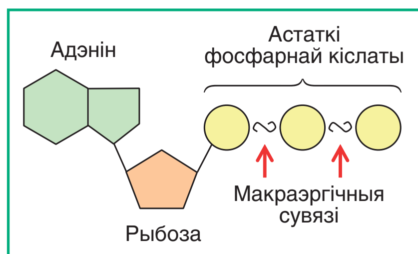
8. У даследчыка ёсць тры малекулы ДНК аднолькавай даўжыні. Вядома, што ўтрыманне тымідылавых нуклеатыдаў (Т) у першым узоры складае 20 % ад агульнага ліку нуклеатыдаў, у другім — 36 %, у трэцім — 8 %. Ён пачаў награваць даныя ўзоры ДНК, паступова павышаючы тэмпературу. Пры гэтым адбывалася аддзяленне камплементарных ланцугоў аднаго ад другога — так званае плаўленне ДНК. Які ўзор пачаў плавіцца першым, а які расплавіўся у апошнюю чаргу? Чаму?

§ 8. АТФ

Нуклеатыды з'яўляюцца структурнай асновай для сінтэзу цэлага шэрага арганічных рэчываў. Да такіх рэчываў у першую чаргу адносіцца **адэназінтрыфосфарная кіслата (АТФ)**. АТФ — універсальны захавальнік і пераносчык энергіі ў клетках усіх арганізмаў. Практычна ва ўсіх біяхімічных працэсах, якія адбываюцца ў клетках з затратамі энергіі, у якасці пастаўшчыка энергіі выкарыстоўваецца АТФ.

Дзякуючы выкарыстанню энергіі АТФ у клетках сінтэзуюцца новыя малекулы бялкоў, вугляводаў, ліпідаў, ажыццяўляецца актыўны транспарт рэчываў, рух жгуцікаў і раснічак, адбываецца дзяленне клетак, ажыццяўляецца работа мышцаў, падтрымліваецца пастаянная тэмпература цела ў цеплакроўных жывёл і г. д.

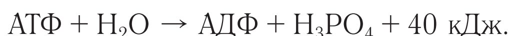
Малекула АТФ складаецца з азоцістай асновы а д э н і н у, пяцівугляроднага цукру р ы б о з ы і трох астаткаў ф о с ф а р н а й к і с л а т ы. Фосфарныя групы ў



Мал. 24. Схема будовы малекулы АТФ

малекуле АТФ злучаны паміж сабой дзвюма макраэргічнымі (высокаэнергетычнымі) сувязямі (мал. 24).

У працэсе гідролізу АТФ адбываецца разрыў макраэргічных сувязей і выдзяляецца вялікая колькасць энергіі. У выніку гідралітычнага адшчаплення ад АТФ аднаго астатка фосфарнай кіслаты (рэакцыя дэфосфарыліравання) утвараюцца **адэназіндыфосфарная кіслата (АДФ)** і вызваляецца 40 кДж/моль энергіі:



$$АТФ + H_2O \rightarrow АДФ + H_3PO_4 + 40 \text{ кДж}.$$

АДФ можа падвяргацца далейшаму гідролізу з адшчапленнем яшчэ адной фасфатнай групы і выдзяленнем другой «порцыі» энергіі. Пры гэтым АДФ пераўтвараецца ў **адэназінмонафосфарную кіслату (АМФ)**:

$$АДФ + H_2O \rightarrow АМФ + H_3PO_4 + 40 \text{ кДж}.$$

Адваротны працэс — сінтэз АТФ — адбываецца ў выніку далучэння да малекулы АДФ астатку фосфарнай кіслаты (рэакцыя фасфарыліравання). Гэты працэс ажыццяўляецца за кошт энергіі, якая вызваляецца пры акісленні арганічных рэчываў (глюкозы, вышэйшых карбонавых каслот і інш.). Для ўтварэння 1 моля АТФ з АДФ павінна быць затрачана не менш за 40 кДж энергіі:

$$АДФ + H_3PO_4 + 40 \text{ кДж} \rightarrow АТФ + H_2O.$$

АТФ надзвычай хутка аднаўляецца. У чалавека, напрыклад, кожная малекула АТФ расшчапляецца і зноў сінтэзуецца каля 2400 разоў у суткі, таму сярэдняя працягласць яе «жыцця» — менш за 1 мін. Сінтэз АТФ ажыццяўляецца галоўным чынам у мітахондрыях і хларапластах, часткова ў гіялаплазме.

Макраэргічныя злучэнні могуць утварацца і на аснове другіх нуклеатыдаў, напрыклад, важную ролю ў шэрагу біяхімічных працэсаў іграе гуаназінтрыфасфат (ГТФ). Аднак АТФ з'яўляецца найбольш распаўсюджаным і ўніверсальным акумулятарам энергіі ў клетках жывых арганізмаў.

1. Якія словы прапушчаны ў сказе і заменены літарамі (а—г)?

У склад малекулы АТФ уваходзіць азоцістая аснова (а), пяцівугляродны монацукрыд (б) і (в) астатка (г) кіслаты.

2. Параўнайце будову АТФ і будову нуклеатыду. Выявіце падабенствы і адрозненні.

3. Што ўяўляе сабой працэс гідролізу АТФ? Сінтэзу АТФ? У чым заключаецца біялагічная роля АТФ?

4. Якія сувязі называюцца макраэргічнымі? Якія функцыі могуць выконваць рэчывы, што ўтрымліваюць макраэргічныя сувязі?

5. Агульная формула АТФ — $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$. Пры гідролізе 1 моль АТФ да АДФ выдзяляецца 40 кДж энергіі. Колькі энергіі выдзеліцца пры гідролізе 1 кг АТФ?
6. У адну клетку ўвялі малекулы АТФ, пазначаныя радыеактыўным фосфарам ^{32}P па апошнім (трэцім) астатку фосфарнай кіслаты, а ў другую — малекулы АТФ, пазначаныя ^{32}P па першым (бліжэйшым да рыбозы) астатку. Праз 5 мін у абедзвюх клетках змералі ўтрыманне неарганічнага фасфат-іона, пазначанага ^{32}P. Дзе яно было вышэй і чаму?

§ 9. Біялагічна актыўныя рэчывы

Асобай групай арганічных злучэнняў з'яўляюцца біялагічна **актыўныя** рэчывы. З іх дапамогай ажыццяўляюцца і рэгулююцца працэсы абмену рэчываў, росту і развіцця жывых арганізмаў. Некаторыя біялагічна актыўныя рэчывы, выдзяляемыя арганізмамі, уплываюць на асобін свайго і другіх відаў. Напрыклад, жывёлы з дапамогай розных біялагічна актыўных рэчываў здольны прыцягваць асобін процілеглага полу або адпужваць ворагаў, а расліны — прыгнятаць або стымуляваць рост іншых раслін, глебавых мікраарганізмаў. Да біялагічна актыўных рэчываў адносяцца вітаміны, гармоны, ферамоны, алкалоіды, антыбіётыкі і інш.

Вітаміны — гэта нізкамалекулярныя арганічныя злучэнні, неабходныя для жыццядзейнасці арганізмаў. Яны прымаюць удзел у рэгуляцыі абмену рэчываў пераважна як кампаненты складаных ферментаў.

Традыцыйна вітаміны абазначаюць літарамі лацінскага алфавіту A, B, C, D і г. д., але ў кожнага з іх ёсць і назвы. Напрыклад, вітамін A — рэцінол, вітамін C — аскарбінавая кіслата. Вітаміны маюць розную хімічную структуру і ўласцівасці. Адны вітаміны раствараюцца ў тлушчах — іх называюць тлушчараставаральнымі (напрыклад, A, D), іншыя растваральныя ў вадзе і, адпаведна, называюцца водараставаральнымі (напрыклад, C, B_1, B_6).

Крыніцай вітамінаў для чалавека і жывёл з'яўляюцца прадукты харчавання пераважна расліннага паходжання. Аднак некаторыя вітаміны змяшчаюцца толькі ў прадуктах жывёльнага паходжання (напрыклад, A і D).

Шэраг вітамінаў можа сінтэзавацца ў арганізме чалавека і жывёл з папярэднікаў (правітамінаў). Напрыклад, у скуры чалавека пад уздзеяннем ультрафіялетавага выпраменьвання з правітаміну (вытворнае халестэрыну) сінтэзуецца вітамін D, а ў печані з карацінаў утвараецца вітамін A. Некаторыя вітаміны ў арганізме чалавека і жывёл могуць сінтэзаваць сімбіятычныя мікраарганізмы. Напрыклад, у кішэчніку чалавека яны сінтэзуюць вітамін B_6.

Гармоны (ад грэч. *гармао* — стымулюю) — біялагічна актыўныя рэчывы, якія выпрацоўваюцца спецыялізаванымі клеткамі, тканкамі і арганізмамі (залозамі ўнутранай і змешанай сакрэцыі), уключаюцца ў біяхімічныя працэсы і ўздзейнічаюць на іншыя клеткі, тканкі і органы (мішэні).

Гармоны могуць мець бялковую (гармон росту самататрапін, гармоны падстраўнікавай залозы інсулін і глюкагон) і стэроідную прыроду (палавыя гармоны, гармоны кары наднырачнікаў), а таксама быць вытворнымі амінакіслот (гармоны шчытападобнай залозы тыраксін і трыёдтыранін, гармоны мазгавога рэчыва наднырачнікаў норадрэналін, адрэналін) і інш.

Гармонам уласціва высокая біялагічная актыўнасць — нават у вельмі малых канцэнтрацыях яны аказваюць моцнае ўздзеянне на працэсы, якія адбываюцца ў арганізме. Спецыфічнасць гармонаў заключаецца ў тым, што яны ўздзейнічаюць на пэўныя мішэні. Напрыклад, гармон росту ўплывае пераважна на касцявую і храстковую тканкі. Пад кантролем гармонаў адбываюцца ўсе этапы індывідуальнага развіцця чалавека і жывёл, а таксама ўсе працэсы жыццядзейнасці. Яны забяспечваюць прыстасаванне да змяненняў умоў знешняга і ўнутранага асяроддзя арганізма, рэгуляцыю актыўнасці ферментаў.

Калі пэўныя гармоны выпрацоўваюцца у недастатковай колькасці або не выпрацоўваюцца ўвогуле, у арганізме назіраюцца парушэнні развіцця і абмену рэчываў рознай ступені цяжкасці. Таксама адмоўна на арганізм уплывае і празмернае ўтварэнне пэўных гармонаў. З курса біялогіі 9-га класа вам вядома, напрыклад, што пры недастатковым утварэнні ў арганізме дзіцяці гармону росту развіваецца карлікавасць, а пры празмерным — гігантызм.

У раслін сінтэзуюцца фітагармоны (ад грэч. *фітон* — расліна). Яны ўплываюць практычна на ўсе працэсы росту і развіцця раслін: дзяленне і рост клетак, дыферэнцыроўку тканак, фарміраванне органаў, развіццё пупышак, прарастанне насення і г. д. Адны фітагармоны стымулююць гэтыя працэсы, другія, наадварот, прыгнятаюць.

Напрыклад, аўксіны, якія сінтэзуюцца ў верхавінкавых утваральных тканках, выклікаюць расцяжэнне клетак. У выніку стымулюецца рост сцёблаў, лістоў і каранёў, утвараюцца іх выгіны. Гіберэліны таксама паскараюць рост органаў за кошт стымуляцыі як дзялення, так і расцяжэння клетак. Акрамя таго, яны перапыняюць перыяд спакою ў насенні, клубнях, цыбулінах, стымулююць прарастанне пылку. Сінтэзуюцца гіберэліны ў органах, якія інтэнсіўна растуць — у насенні, што фарміруецца, верхавінкавых пупышках, радзей у каранях. Цытакініны, якіх больш за ўсё ў насенні, пладах і ўтваральных тканках, стымулююць дзяленне клетак.

Фярамоны (ад грэч. *фера* — нясу, *гармао* — прымушаю) — біялагічна актыўныя рэчывы, якія выдзяляюцца з арганізма ў знешняе асяроддзе і робяць уплыў на паводзіны і фізіялагічны стан асобін таго ж віду. Ферамоны выкарыстоўваюцца для распазнавання асобін свайго віду, для прываблівання шлюбнага партнёра, для абазначэння сваёй тэрыторыі або для абароны. Ферамоны, як і гармоны, дзейнічаюць у малых канцэнтрацыях і ўяўляюць сабой сігнальныя малекулы. І калі гармоны рэгулююць працэсы жыццядзейнасці ўнутры арганізма, то ферамоны перадаюцца другім арганізмам у якасці хімічных сігналаў. Хімічная камунікацыя з дапамогай ферамонаў назіраецца ў *бактэрый, пратыстаў* і розных *жывёл*.

Алкалоіды — гэта арганічныя біялагічна актыўныя рэчывы ў асноўным расліннага паходжання. Большасць алкалоідаў ядавітыя для жывёл і чалавека. Алкалоіды выяўлены прыблізна ў 2500 відаў пакрытанасенных раслін. Іх значэнне ў жыцці раслін, відаць, заключаецца ў ахове ад паядання жывёламі.

Некаторыя алкалоіды ў малых дозах выкарыстоўваюцца чалавекам у медыцыне ў якасці лякарстваў (атрапін, кафеін, марфін і інш.). Алкалоід хінін прымяняюць пры лячэнні малярыі: ён прыгнятае жыццядзейнасць *малярыйнага плазмодыю* ў эрытрацытах чалавека.

Асобая група біялагічна актыўных рэчываў — **антыбіётыкі** (ад грэч. *анты* — супраць, *біяс* — жыццё). Гэта біялагічна актыўныя рэчывы прыроднага або сінтэтычнага паходжання. Прыродныя антыбіётыкі выпрацоўваюцца клеткамі розных мікраарганізмаў. Яны ўплываюць на клеткі іншых мікраарганізмаў, прыгнятаючы развіццё апошніх або знішчаючы іх.

Чалавек шырока выкарыстоўвае антыбіётыкі для лячэння захворванняў, выкліканых хваробатворнымі бактэрыямі, паразітычнымі пратыстамі або грыбамі. Некаторыя антыбіётыкі тармозяць рост злаякасных пухлін, прыгнятаючы размнажэнне ракавых клетак. Аднак антыбіётыкі трэба прымаць толькі па назначэнні ўрача, прычым строга захоўваючы рэкамендацыі па іх прыёме. Самалячэнне і злоўжыванне антыбіётыкамі можа прывесці да аслаблення ўласнай аховы арганізма, гібелі мікрафлоры кішэчніка, захворванняў печані і нырак.

?

1. Назавіце асноўныя групы біялагічна актыўных рэчываў.

2. Чаму пры недахопе або адсутнасці пэўных вітамінаў у арганізме чалавека і жывёл назіраюцца розныя парушэнні абмену рэчываў?

3. Якія асноўныя ўласцівасці гармонаў?

4. На аснове матэрыялу, вывучанага ў 9-м класе, дакажыце, што залішняя і недастатковая сакрэцыя гармонаў вядзе да парушэнняў працэсаў жыццядзейнасці і развіцця арганізма.

5. Якая біялагічная роля ферамонаў? Што агульнае ў ферамонаў і гармонаў? У чым заключаецца галоўнае адрозненне паміж гэтымі групамі біялагічна актыўных рэчываў?

6. Што такое алкалоіды? Якое іх значэнне ў прыродзе і жыцці чалавека?

7. Выкарыстоўваючы веды, атрыманыя пры вывучэнні арганізма чалавека ў 9-м класе, растлумачце, чаму злоўжыванне антыбіётыкамі нярэдка прыводзіць да расстройстваў стрававання, аслаблення ўласнай аховы арганізма, хвароб печані і нырак?

8. Захворванні, выкліканыя залішнім паступленнем вітамінаў у арганізм, называюцца гіпервітамінозамі. Часцей за ўсё ў людзей назіраюцца гіпервітамінозы D і A. Пры гіпервітамінозе D развіваецца галаўны боль і боль у мышцах, парушаецца страваванне. Пры гіпервітамінозе A назіраюцца расстройствы нервовай сістэмы, сверб і лушчэнне скуры і г. д. У той жа час гіпервітамінозы C, B_1, B_6 сустракаюцца значна радзей і, як правіла, лечацца нашмат хутчэй. Як вы думаеце, з чым гэта звязана?

Глава 2 Клетка — структурная і функцыянальная адзінка жывых арганізмаў

§ 10. Гісторыя адкрыцця клеткі. Стварэнне клетачнай тэорыі

Усе жывыя арганізмы складаюцца з клетак. Некаторыя — усяго толькі з адной клеткі (многія бактэрыі і пратысты), другія з'яўляюцца мнагаклетачнымі.

Клетка — элементарная структурная і функцыянальная адзінка арганізма, якая валодае ўсімі асноўнымі прыметамі жывога.

Клеткі здольны размнажацца, расці, абменьвацца рэчывамі і энергіяй з навакольным асяроддзем, рэагаваць на змяненні, якія адбываюцца ў гэтым асяроддзі. У кожнай клетцы жывога арганізма ўтрымліваецца спадчынны матэрыял, у якім заключана інфармацыя аб усіх прыметах і ўласцівасцях дадзенага арганізма. Для таго каб зразумець, як існуе і працуе жывы арганізм, неабходна ведаць, як арганізаваны і функцыянуюць яго клеткі. Многія працэсы, уласцівыя арганізму ў цэлым, працякаюць у кожнай яго клетцы (напрыклад, сінтэз арганічных рэчываў, дыханне і інш.).

Вывучэннем будовы клеткі і прынцыпаў яе жыццядзейнасці займаецца **цыталогія** (ад грэч. *кітас* — клетка, ячэйка, *логас* — вучэнне, навука).

Гісторыя адкрыцця клеткі. Большасць клетак маюць вельмі маленькія памеры, таму іх нельга разгледзець няўзброеным вокам. Сёння вядома, што дыяметр большасці клетак не перавышае 20—100 мкм, а ў шарападобных бактэрый — 1,5 мкм. Таму адкрыццё клеткі стала магчымым толькі пасля вынаходніцтва павелічальнага прыбора — мікраскопа. Гэта адбылося ў канцы XVI — пачатку XVII ст. Аднак толькі праз паўстагоддзе, у 1665 г., англічанін Р. Гук прымяніў мікраскоп для даследавання жывых арганізмаў. Гук вывучыў пад мікраскопам тонкі зрэз корка і ўбачыў яго ячэістую будову, падобную да пчаліных сотаў. Гэтыя ячэйкі Гук і назваў клеткамі. Хутка клетачную будову раслін пацвердзілі італьянскі біёлаг і ўрач

Гук Роберт (1635—1703) — англійскі прыродазнавец, living рознабаковы вучоны і эксперыментатар. Удасканаліў мікраскоп і ўстанавіў клетачную будову тканак, увёў тэрмін «клетка».

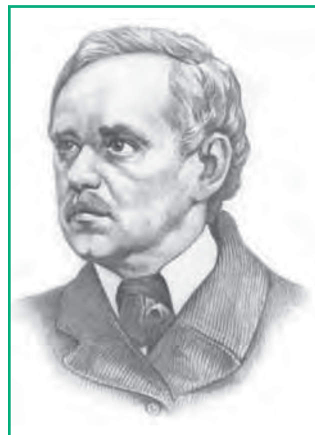
Шван Тэадор (1810—1882) — нямецкі біёлаг, заснавальнік клетачнай тэорыі.

М. Мальпігі і англійскі батанік Н. Гру. Іх увагу прыцягнулі форма клетак і будова іх абалонак. У выніку ўзнікла ўяўленне аб клетках як аб «мяшочках», або «пузырках», напоўненых «пажыўным сокам».

Значны ўклад у вывучэнне клеткі ўнёс галандскі мікраскапіст А. ван Левенгук, які адкрыў аднаклетачныя арганізмы — *інфузорыі, амёбы, бактэрыі*. Ён таксама ўпершыню назіраў клеткі жывёл — эрытрацыты і сперматазоіды.

У пачатку XIX ст. былі зроблены спробы вывучэння ўнутранага змесціва клетак. У 1825 г. чэшскі вучоны Я. Пуркінэ адкрыў ядро ў яйцаклетцы птушак. Ён таксама ўвёў паняцце «пратаплазма» (ад грэч. *протас* — першы, *плазма* — аформлены), якое адпавядае сённяшняму паняццю цытаплазмы. У 1831 г. англійскі батанік Р. Броўн упершыню апісаў ядро ў клетках раслін, а ў 1833 г. ён прыйшоў да высновы, што ядро з'яўляецца абавязковай часткай раслінnай клеткі. Такім чынам, у гэты час мяняецца ўяўленне аб будове клетак: галоўным сталі лічыць не клетачную абалонку, а ўнутранае змесціва.

Клетачная тэорыя. У 1838 г. была апублікавана праца нямецкага батаніка М. Шлейдэна, у якой ён выказаў ідэю аб тым, што клетка з'яўляецца асноўнай структурнай адзінкай раслін. Аднак гонар стварэння клетачнай тэорыі належыць нямецкаму заолагу і фізіёлагу Т. Швану. Грунтуючыся на працы М. Шлейдэна і іншых даследчыкаў, Шван у 1839 г. апублікаваў кнігу «Мікраскапічныя даследаванні аб адпаведнасці ў структуры і росце жывёл і раслін», у якой разглядаў клетку як універсальны структурны кампанент жывёл і раслін. Шван зрабіў шэраг абагульненняў, якія потым назвалі **клетачнай тэорыяй**. Ён лічыў, што ўсе жывыя істоты склада-



Шлейдэн Матыяс Якаб (1804—1881) — нямецкі батанік, чые працы адыгралі важную ролю ў абгрунтаванні Т. Шванам клетачнай тэорыі.

Вірхаў Рудольф (1821—1902) — нямецкі біёлаг, заснавальнік тэорыі, згодна з якой любы паталагічны працэс у арганізме — гэта сума парушэнняў жыццядзейнасці асобных клетак.

юцца з клетак, якія ў раслін і жывёл маюць падобную будову.

Шван, як і Шлейдэн, памылкова лічыў, што клеткі ў арганізме ўзнікаюць з няклетачнага рэчыва. Таму вельмі важным дапаўненнем у клетачнай тэорыі стаў прынцып нямецкага біёлага Р. Вірхава: «Кожная клетка — ад клеткі» (1858).

У 1872 г. прафесар Дэрпцкага ўніверсітэта (цяпер гэта Тартускі ўніверсітэт, Эстонія) Э. Русаў, а ў 1874 г. малады рускі батанік І. Д. Чысцякоў упершыню назіралі дзяленне клеткі. Пазней нямецкі вучоны В. Флемінг дэталёва апісаў стадыі дзялення клеткі, а О. Гертвіг і Э. Страсбургер незалежна адзін ад другога прыйшлі да высновы, што інфармацыя аб спадчынных прыметах клеткі знаходзіцца ў ядры. Так працамі многіх даследчыкаў была пацверджана і дапоўнена клетачная тэорыя, аснову якой залажыў Т. Шван.

У цяперашні час клетачная тэорыя ўключае наступныя асноўныя палажэнні.

1. Клетка — элементарная структурная і функцыянальная адзінка жывых арганізмаў, якая валодае ўсімі прыметамі і ўласцівасцямі жывога.

2. Клеткі ўсіх арганізмаў падобныя па будове, хімічным саставе і асноўных праявах жыццядзейнасці.

3. Клеткі ўтвараюцца шляхам дзялення зыходнай мацярынскай клеткі.

4. У мнагаклетачным арганізме клеткі спецыялізуюцца па функцыях і ўтвараюць тканкі. З тканак пабудаваны органы і сістэмы органаў.

Клетачная тэорыя — адно з важнейшых абагульненняў біялогіі. Яе стварэнне стала значнай падзеяй у прыродазнаўстве. Клетачная тэорыя аказала істотны ўплыў на развіццё біялогіі і паслужыла фундаментам для далейшага развіцця многіх біялагічных дысцыплін — эмбрыялогіі, гісталогіі, фізіялогіі і інш.

Асноўныя палажэнні клетачнай тэорыі захавалі сваё значэнне і на сённяшні дзень, хоць больш чым за 170 гадоў былі атрыманы новыя звесткі аб структуры і жыццядзейнасці клеткі.

? **1.** Каму належыць адкрыццё клеткі? Хто з'яўляецца аўтарам і заснавальнікам клетачнай тэорыі? Хто дапоўніў клетачную тэорыю прынцыпам: «Кожная клетка — ад клеткі»?

Р. Вірхаў, Р. Броўн, Р. Гук, Т. Шван, А. ван Левенгук.

2. Якія вучоныя ўнеслі значны ўклад у развіццё ўяўленняў аб клетцы? Назавіце заслугі кожнага з іх.

3. Сфармулюйце асноўныя палажэнні клетачнай тэорыі. Які ўклад унесла клетачная тэорыя ў развіццё прыродазнаўчанавуковай карціны свету?

4. Выкарыстаўшы веды, атрыманыя пры вывучэнні біялогіі ў 6—9-х класах, на прыкладах дакажыце справядлівасць чацвёртага палажэння клетачнай тэорыі.

5. Да 1830-х гг. была распаўсюджана думка аб тым, што клеткі — гэта «мяшочкі» з пажыўным сокам, пры гэтым галоўнай часткай клеткі лічылася яе абалонка. Чым магло быць абумоўлена такое ўяўленне аб клетках? Якія адкрыцці садзейнічалі змяненню ўяўленняў аб будове і функцыянаванні клетак?

6. Дакажыце, што менавіта клетка з'яўляецца элементарнай структурна-функцыянальнай адзінкай жывых арганізмаў.

7. Памеры большасці раслінных і жывёльных клетак складаюць 20—100 мкм, г. зн. клеткі з'яўляюцца даволі дробнымі структурамі. Чым абумоўлены мікраскапічныя памеры клетак? Растлумачце, чаму расліны і жывёлы складаюцца не з адной (або некалькіх) вялікай клеткі, а з мноства дробных.

§ 11. Метады вывучэння клеткі. Агульны план будовы клеткі

Метады вывучэння клеткі. Для вывучэння будовы і жыццядзейнасці клетак прымяняюцца самыя разнастайныя метады. Гістарычна першым метадам стала **светлавая мікраскапія**, якая заснавана на тым, што праз празрысты або паўпразрысты аб'ект даследавання праходзяць прамяні святла, якія трапляюць затым у сістэму лінз аб'ектыва і акуляра. Лінзы павялічваюць аб'ект даследавання. З дапамогай светлавых мікраскопаў была адкрыта клетка і некаторыя яе структуры (пластыды, ядро, абалонка, вакуолі). Але многія клетачныя структуры або дэталі іх будовы немагчыма было разгледзець з-за іх празрыстасці. Таму былі распрацаваны спецыяльныя метады фіксацыі і афарбоўвання даследуемага матэрыялу. Яны дазволілі атрымаць прэпараты, на якіх добра відны афарбаваныя структуры клеткі, як, напрыклад, у клетках кончыка кораня цыбулі (мал. 25).

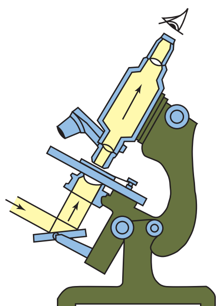
У пачатку 1930-х гг. быў створаны **электронны мікраскоп** (мал. 26), які даў магчымасць дэталёва разгледзець клетачныя структуры памерам да 0,1 нм. У электронным мікраскопе замест светлавых прамянёў выкарыстоўваецца пучок электронаў. Пад электронным мікраскопам відны біялагічныя мембраны (таўшчыня 6—10 нм), рыбасомы (дыяметр каля 20 нм) і іншыя структуры клеткі.

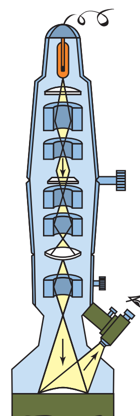
Мал. 25. Афарбаваны прэпарат клетак кончыка кораня цыбулі

Для выдзялення і дэталёвага вывучэння асобных арганоідаў клеткі часта выкарыстоўва-

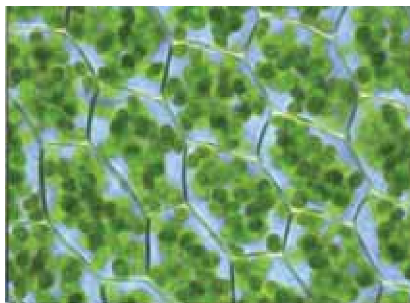
Светлавы мікраскоп

Электронны мікраскоп





Стрэлкамі паказана, як праходзіць прамень святла і пучок электронаў



Так выглядаюць хларапласты ў клетках раслін

Мал. 26. Светлавы і электронны мікраскопы

ецца метад **дыферэнцыяльнага (раздзяляльнага) цэнтрыфугавання:** разбураныя клеткі змяшчаюць у цэнтрыфугу — прыбор, у якім прабіркі з клетачным матэрыялам круцяцца на вельмі высокай скорасці. Розныя клетачныя структуры маюць розную масу, памеры і шчыльнасць, таму пад уздзеяннем цэнтрабежнай сілы ў растворах пэўных рэчываў (напрыклад, цукрозы або хларыду цэзію) яны асядаюць з рознай скорасцю і спыняюцца ў пэўным слоі вадкасці, што дае магчымасць аддзяліць адны часцінкі ад другіх. Такім метадам аддзяляюць мітахондрыі, рыбасомы і іншыя арганоіды клеткі.

У распараджэнні сучасных вучоных ёсць цэлы рад хімічных і фізічных метадаў, якія дазваляюць даследаваць розныя віды малекул, што ўваходзяць у састаў клеткі. Для вывучэння лакалізацыі асобных хімічных рэчываў у клетцы шырока выкарыстоўваюцца метады **цыта-** і **гістахіміі.** Яны заснаваны на выбіральным дзеянні рэактываў і фарбавальнікаў на пэўныя хімічныя рэчывы, якія змяшчаюцца ў той або іншай клетачнай структуры.

Калі патрэбна прасачыць за якім-небудзь хімічным злучэннем у клетцы, то можна замяніць адзін з атамаў у яго малекулах на радыенуклід. Такія малекулы будуць мець радыеактыўную метку, па якой іх можна выявіць з дапамогай лічыльніка радыеактыўных часціц або па здольнасці засвечваць фотаплёнку. Часцей за ўсё ў якасці радыеактыўных метак выкарыстоўваюць нукліды вадароду (^{3}H), вугляроду (^{14}C) і фосфару (^{32}P). Такі метад атрымаў назву **аўтарадыеграфіі**.

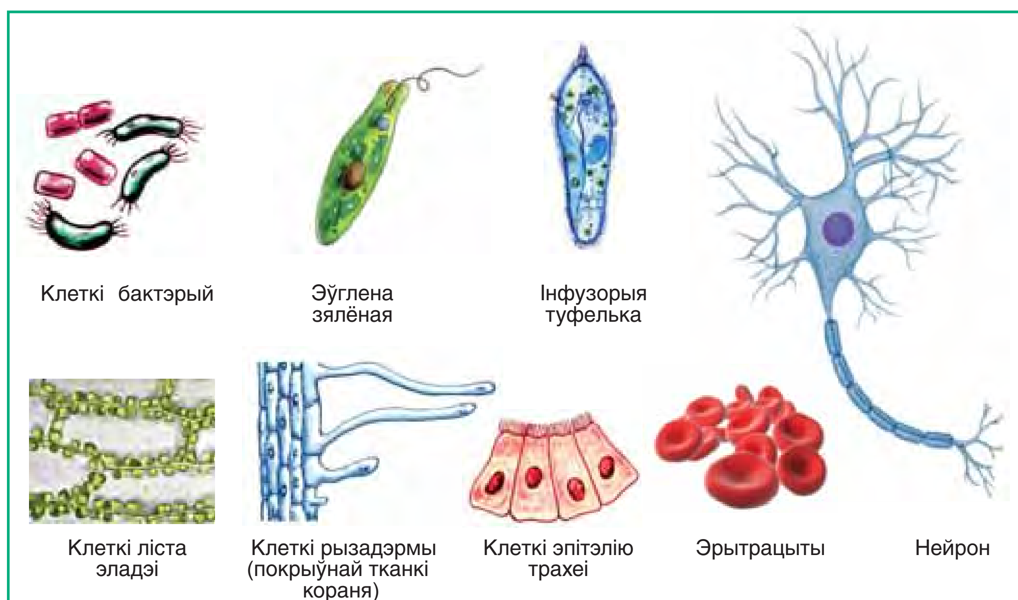
Метад **рэнтгенаструктурнага аналізу** дае магчымасць вызначыць прасторавае размяшчэнне атамаў і іх груповак у малекулах (напрыклад, ДНК, бялкоў), якія ўваходзяць у састаў клетачных структур.

Для вывучэння працэсаў дзялення клетак, іх дыферэнцыроўкі і спецыялізацыі выкарыстоўваюць метад **клетачных культур** — вырошчванне клетак мнагаклетачных арганізмаў на пажыўных асяроддзях у кантралюемых умовах.

Пры даследаванні жывых клетак, высвятленні функцый асобных арганоідаў прымяняюць метады **мікрахірургіі**, г. зн. аператыўнага ўздзеяння на клетку: выдаленне або перасаджванне асобных арганоідаў з адных клетак у другія, мікраін'екцыі розных рэчываў і г. д.

Прасачыць за працэсамі, якія адбываюцца ў жывой клетцы на працягу доўгага часу, дазваляе **запаволеная кіна-** або **відэаздымка** праз моцныя светлавыя мікраскопы.

Агульны план будовы клеткі. Паводле будовы клетак жывыя арганізмы дзеляцца на дзве групы: пракарыёты і эўкарыёты. **Пракарыёты** (ад лац. *пра* — перад, замест, ад грэч. *карыён* — ядро) — даядзерныя арганізмы. Іх клеткі не маюць ядра. Да пракарыётаў адносяцца *бактэрыі*. **Эўкарыёты** (ад грэч. *эу* — цалкам, добра, *карыён* — ядро) — арганізмы, клеткі якіх змяшчаюць ядро (ядзерныя арганізмы). Эўкарыётамі з'яўляюцца *пратысты, грыбы, расліны* і *жывёлы*.



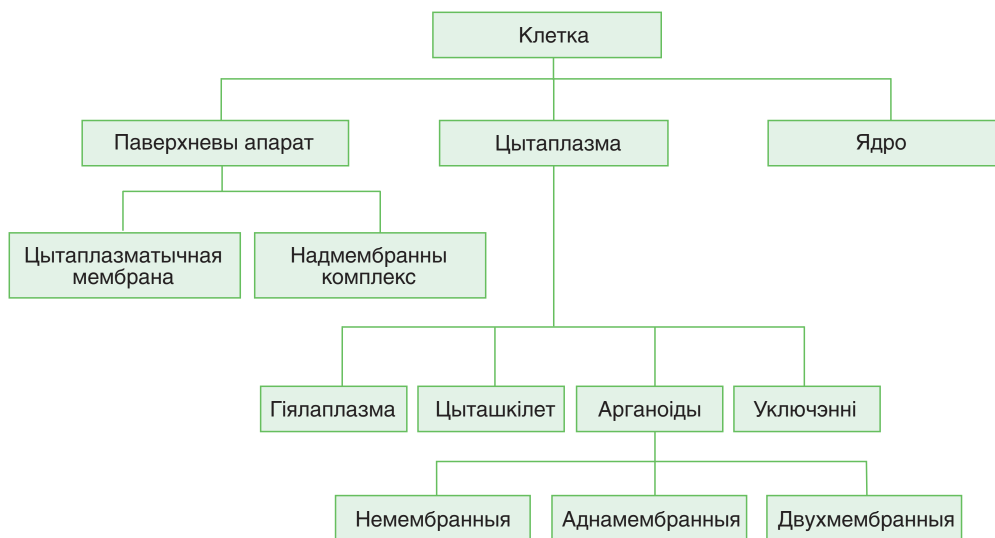
Мал. 27. Разнастайнасць клетак

Клеткі арганізмаў розных царстваў адрозніваюцца адна ад другой памерамі, формай, асаблівасцямі будовы (мал. 27), выконваемымі функцыямі. Больш таго, істотныя адрозненні можна выявіць у будове і функцыях клетак розных тканак аднаго арганізма.

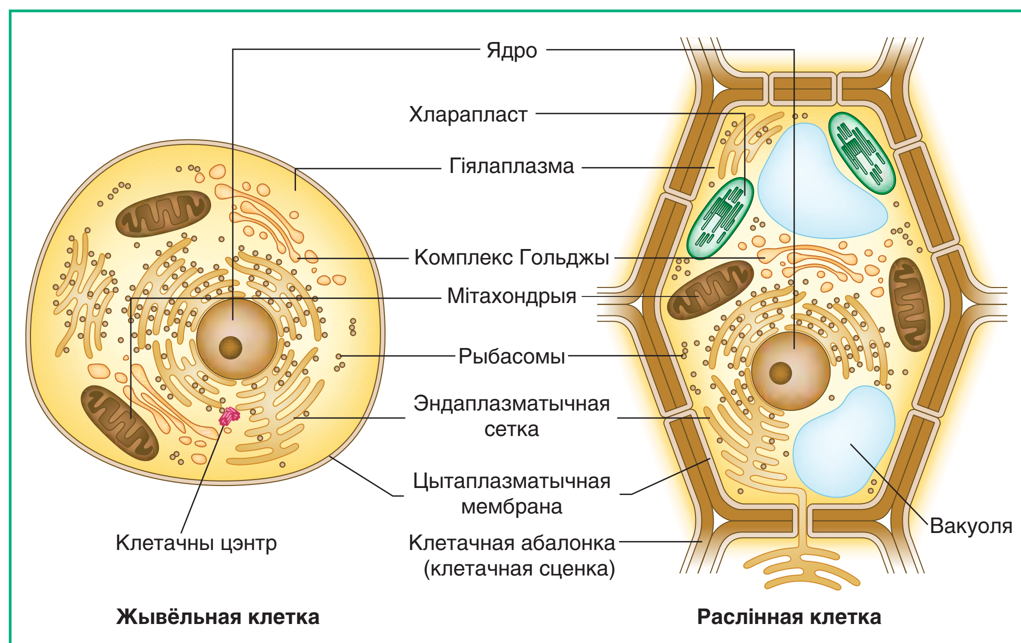
Нягледзячы на шматлікасць клетак, усе яны маюць **адзіны прынцып арганізацыі** (мал. 28, 29). Клетка складаецца з трох асноўных частак: паверхневага апарату, цытаплазмы і ядра (у эўкарыёт). Разгледзім будову клетак ядзерных арганізмаў.

Паверхневы апарат утвораны цытаплазматычнай мембранай і надмембранным комплексам. Паверхневы апарат абмяжоўвае ўнутранае змесціва клетак, захоўвае яго ад знешніх уздзеянняў, ажыццяўляе абмен рэчываў паміж клеткай і пазаклетачным асяроддзем. Надмембранны комплекс клетак раслін, грыбоў і многіх пратыстаў прадстаўлены шчыльнай, часта мнагаслойнай, разнастайнай па будове клетачнай сценкай (абалонкай). Клеткі жывёл пакрыты толькі цытаплазматычнай мембранай.

Цытаплазма (ад грэч. *кітас* — клетка, ячэйка, *плазма* — аформлены) уключае ўнутранае асяроддзе клетак — гіялаплазму — і пагружаныя ў яе цыташкілет, арганоіды і ўключэнні. Цыташкілет (унутрыклетачны шкілет) — гэта сістэма мікратрубачак і мікрафіламентаў (мікраніцей). Ён выконвае апорную функцыю і забяспечвае ўнутрыклетачныя рухі.



Мал. 28. Агульны план будовы клеткі



Мал. 29. Схема будовы жывёльнай і расліннай клетак

Арганоіды — пастаянныя структуры цытаплазмы, якія маюць розную будову і выконваюць розныя функцыі. Арганоіды можна раздзяляць на дзве групы: мембранныя і немембранныя. Мембранныя арганоіды таксама прадстаўлены двума тыпамі — двухмембраннымі і аднамембраннымі. Да двухмембранных арганоідаў адносяцца мітахондрыі і пластыды. Аднамембраннымі арганоідамі з'яўляюцца эндаплазматычная сетка, комплекс Гольджы, лізасомы і вакуолі. Да немембранных арганоідаў адносяцца рыбасомы і клетачны цэнтр.

Уключэнні — непастаянныя ўнутрыклетачныя ўтварэнні. Яны могуць з'яўляцца ў працэсе жыццядзейнасці, знікаць і зноў утварацца. Уключэнні ў асноўным уяўляюць сабой запасныя рэчывы або канечныя прадукты абмену рэчываў клеткі. Гэта могуць быць, напрыклад, ліпідныя каплі, гранулы (зерні) крухмалу або глікагену, крышталі солей.

Ядро — важнейшая структура клетак эўкарыёт, якая мае двухмембранную будову. У ім змяшчаецца ДНК, якая з'яўляецца носьбітам спадчыннай інфармацыі. Ядро забяспечвае захаванне і рэалізацыю спадчыннай інфармацыі, а таксама яе перадачу даччыным клеткам.

?

1. Якія арганізмы адносяцца да эўкарыёт? Да пракарыёт?

Расліны, грыбы, пратысты, бактэрыі, жывёлы.

2. Якія паняцці прапушчаны ў біялагічных «ураўненнях» і заменены пытальнымі знакамі?

Паверхневы апарат клеткі + ? + ядро = эўкарыятычная клетка
Цытаплазма = арганоіды + уключэнні + цыташкілет + ?
Надмембранны комплекс + ? = паверхневы апарат клеткі

3. Назавіце і ахарактарызуйце асноўныя метады вывучэння клеткі.

4. Які агульны прынцып будовы клетак? Аб чым сведчыць той факт, што клеткі розных арганізмаў маюць агульны план будовы?

5. Як пабудаваны паверхневы апарат клетак? Прывядзіце прыклады.

6. Чым арганоіды прынцыпова адрозніваюцца ад уключэнняў? Як вы думаеце, у клетках якіх тканак і органаў раслін змяшчаецца больш за ўсё ўключэнняў?

7. Падбярыце метады, падыходзячыя для кожнага цыталагічнага даследавання. Абгрунтуйце свой выбар.

а) Вызначэнне таўшчыні цытаплазматычнай мембраны клеткі.
б) Выдзяленне з нейронаў ядзер і іх збор у асобную прабірку для далейшага вывучэння.
в) Падлік сярэдняй колькасці лейкапластаў (бясколерных пластыд) у клетках клубня бульбы.
г) Вызначэнне формы малекулы бялку і пабудаванне яе аб'ёмнай выявы.
д) Размнажэнне ў лабараторыі лейкацытаў чалавека, а затым вызначэнне, ці змогуць яны выконваць свае функцыі без ядра.
е) Падлік колькасці эрытрацытаў у 1 мм^3 крыві чалавека.

8. У сувязі з чым некаторыя клеткі дасягаюць параўнальна вялікіх памераў (яйцаклеткі птушак і акул, клеткі мякаці пладоў і эндасперма насення, нейроны з адросткамі больш чым 1 м)? Ці ёсць межы павелічэння (а таксама і памяншэння) памераў клетак? Чым яны абумоўлены?

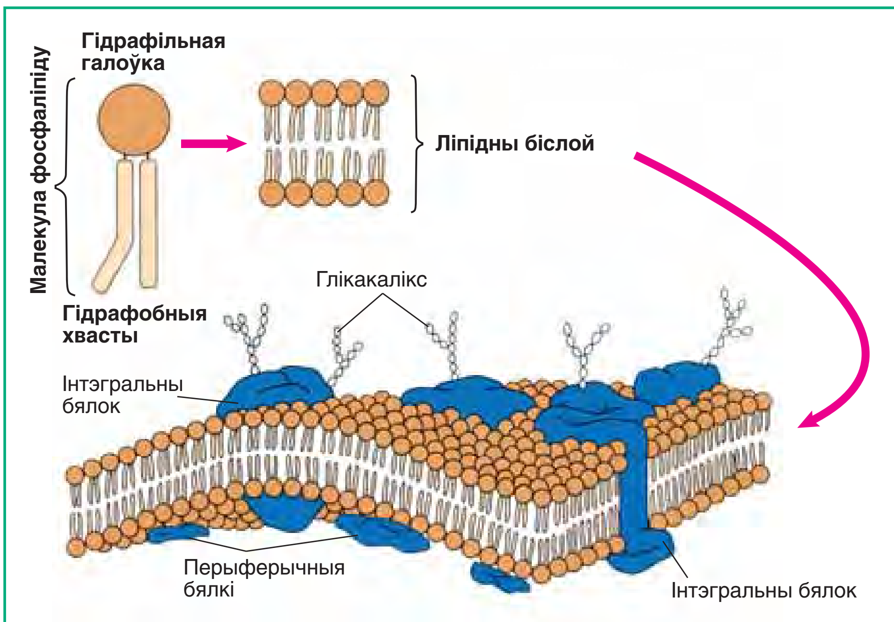
§ 12. Цытаплазматычная мембрана

Цытаплазматычная мембрана (плазмалема) — асноўная, універсальная для ўсіх клетак частка паверхневага апарату. Яе таўшчыня складае каля 10 нм. Плазмалема абмяжоўвае цытаплазму і захоўвае яе ад знешніх уздзеянняў, прымае ўдзел у працэсах абмену рэчываў паміж клеткай і пазаклетачным асяроддзем.

Асноўнымі кампанентамі мембраны з'яўляюцца ліпіды і бялкі. Ліпіды складаюць каля 40 % масы мембран. Сярод іх пераважаюць фосфаліпіды.

Малекулы фосфаліпідаў размяшчаюцца ў выглядзе двайнога слоя (ліпідны біслой). Як вы ўжо ведаеце, кожная малекула фосфаліпіду ўтворана палярнай гідрафільнай галоўкай і непалярнымі гідрафобнымі хвастамі. У цытаплазматычнай мембране гідрафільныя галоўкі павернуты да знешняга і ўнутранага бакоў мембраны, а гідрафобныя хвасты — унутр мембраны (мал. 30).

Акрамя ліпідаў, у састаў мембран уваходзяць бялкі двух тыпаў: інтэгральныя і перыферычныя. Інтэгральныя бялкі больш ці менш глыбока пагружаны ў мембрану або пранізваюць яе наскрозь. Перыферычныя бялкі размяшчаюцца на знешняй і ўнутранай паверхнях мембраны, прычым многія з іх за-



Мал. 30. Схема будовы цытаплазматычнай мембраны

бяспечваюць узаемадзеянне плазмалемы з надмембраннымі і ўнутрыклетачнымі структурамі.

На знешняй паверхні цытаплазматычнай мембраны могуць размяшчацца малекулы аліга- і поліцукрыдаў. Яны кавалентна звязваюцца з мембраннымі ліпідамі і бялкамі, утвараючы глікаліпіды і глікапратэіны. У клетках жывёл такі вугляводны слой пакрывае ўсю паверхню плазмалемы, утвараючы надмембранны комплекс. Ён называецца **глікакаліксам** (ад лац. *глікіс* — салодкі, *калюм* — тоўстая скура).

Функцыі цытаплазматычнай мембраны. Плазмалема выконвае шэраг функцый, важнейшымі з якіх з'яўляюцца бар'ерная, рэцэпторная і транспартная.

Бар'ерная функцыя. Цытаплазматычная мембрана акружае клетку з усіх бакоў, выконваючы ролю бар'ера — перашкоды паміж складана арганізаваным унутрыклетачным змесцівам і клетачным асяроддзем. Бар'ерную функцыю забяспечвае перш за ўсё ліпідны біслой, які не дазваляе змесціву клеткі расцякацца і які перашкаджае пранікненню ў клетку чужародных рэчываў.

Рэцэпторная функцыя. У цытаплазматычнай мембране ёсць бялкі, здольныя ў адказ на дзеянне розных фактараў знешняга асяроддзя змяняць сваю прасторавую структуру і такім чынам перадаваць сігналы ўнутр клеткі. Такім чынам, цытаплазматычная мембрана забяспечвае раздражняльнасць клетак (здольнасць успрымаць раздражняльнікі і пэўным чынам рэагаваць на іх), ажыццяўляючы абмен інфармацыяй паміж клеткай і навакольным асяроддзем.

Некаторыя рэцэпторныя бялкі цытаплазматычнай мембраны здольны распазнаваць пэўныя рэчывы і спецыфічна звязвацца з імі. Такія бялкі могуць удзельнічаць у адборы неабходных малекул, якія паступаюць у клеткі.

Да рэцэпторных бялкоў адносяцца, напрыклад, антыгенраспазнавальныя рэцэптары лімфацытаў, рэцэптары гармонаў і нейрамедыятараў і г. д. У ажыццяўленні рэцэпторнай функцыі, акрамя мембранных бялкоў, важную ролю адыгрываюць элементы глікакаліксу.

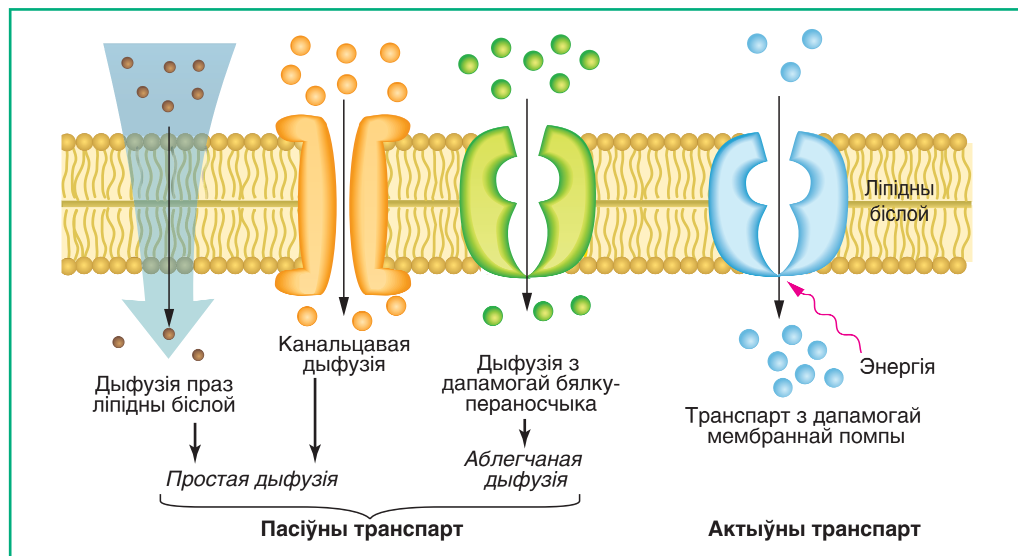
Разнастайнасць і спецыфічнасць набораў рэцэптараў на паверхні клетак прыводзіць да стварэння складанай сістэмы маркёраў, якія дазваляюць адрозніваць «свае» клеткі (той жа асобіны або таго ж віду) ад «чужых». Дзякуючы гэтаму клеткі могуць уступаць адна з другой ва ўзаемадзеянне (напрыклад, кан'югацыя ў бактэрый, утварэнне тканак у жывёл).

У цытаплазматычнай мембране могуць быць лакалізаваны спецыфічныя рэцэптары, якія рэагуюць на розныя фізічныя фактары. Напрыклад, у плазмалеме святлоадчувальных клетак жывёл размешчана спецыяльная фотарэцэпторная сістэма, ключавую ролю ў функцыянаванні якой адыгрывае зрокавы пігмент радапсін. З дапамогай фотарэцэптараў светлавы сігнал ператвараецца ў хімічны, што, у сваю чаргу, прыводзіць да ўзнікнення нервовага імпульсу.

Транспартная функцыя. Адной з асноўных функцый плазмалемы з'яўляецца забеспячэнне транспарту рэчываў як у клетку, так і з яе ў пазаклетачнае асяроддзе. Выдзяляюць некалькі асноўных спосабаў транспарту рэчываў праз цытаплазматычную мембрану: простая дыфузія, аблегчаная дыфузія, актыўны транспарт і транспарт у мембраннай упакоўцы (мал. 31).

Пры простай дыфузіі назіраецца самаадвольнае перамяшчэнне рэчываў праз мембрану з вобласці, дзе канцэнтрацыя гэтых рэчываў вышэйшая, у вобласць, дзе іх канцэнтрацыя ніжэйшая. Шляхам простай дыфузіі праз плазмалему могуць праходзіць невялікія малекулы (напрыклад, H_2O, O_2, CO_2, мачавіна) і іоны. Як правіла, непалярныя рэчывы транспартуюцца непасрэдна праз ліпідны біслой, а палярныя малекулы і іоны — праз каналы, утвораныя спецыяльнымі мембраннымі бялкамі. Простая дыфузія адбываецца адносна павольна. Для паскарэння дыфузнага транспарту існуюць мембранныя бялкі-пераносчыкі. Яны выбіральна звязваюцца з тым або іншым іонам або малекулай і пераносяць іх праз мембрану. Такі тып транспарту называецца аблегчанай дыфузіяй. Скорасць пераносу рэчываў пры аблегчанай дыфузіі ў шмат разоў вышэйшая, чым пры звычайнай.

Дыфузія (простая і аблегчаная) — разнавіднасці пасіўнага транспарту. Ён характарызуецца тым, што рэчывы транспартуюцца праз мембрану без затрат энергіі і толькі ў тым напрамку, дзе меншая канцэнтрацыя дадзеных рэчываў.

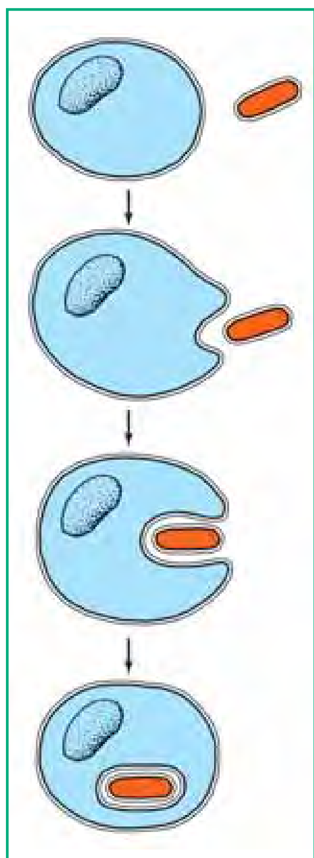


Мал. 31. Схема транспарту рэчываў праз цытаплазматычную мембрану

Актыўны транспарт — перанос рэчываў праз мембрану з вобласці нізкай канцэнтрацыі гэтых рэчываў у вобласць больш высокай. Для гэтага ў мембране маюцца спецыяльныя помпы, якія працуюць з выкарыстаннем энергіі (гл. мал. 31). Часцей за ўсё для іх работы выкарыстоўваецца энергія АТФ.

Адной з найбольш распаўсюджаных мембранных помпаў з'яўляецца натрый-каліевая АТФаза (Na^+/K^+-АТФаза). Яна выдаляе з клеткі іоны Na^+ і запампоўвае ў яе іоны K^+. Для работы Na^+/K^+-АТФаза выкарыстоўвае энергію, выдзяляемую пры гідролізе АТФ. Дзякуючы гэтай помпе падтрымліваецца рознасць канцэнтрацый Na^+ і K^+ у клетцы і пазаклетачным асяроддзі, што ляжыць у аснове многіх біяэлектрычных і транспартных працэсаў.

У выніку актыўнага транспарту з дапамогай мембранных помпаў адбываецца таксама рэгуляцыя ўтрымання Mg^{2+}, Ca^{2+} і іншых іонаў у клетцы.



Мал. 32. Схема эндацытозу

Шляхам актыўнага транспарту праз цытаплазматычную мембрану могуць перамяшчацца не толькі іоны, але і монацукрыды, амінакіслоты, іншыя нізкамалекулярныя рэчывы.

Своеасаблівай і адносна добра вывучанай разнавіднасцю мембраннага транспарту з'яўляецца транспарт у мембраннай упакоўцы. У залежнасці ад таго, у якім напрамку пераносяцца рэчывы (у клетку або з яе), адрозніваюць два віды гэтага транспарту — эндацытоз і экзацытоз.

Эндацытоз (ад грэч. *эндан* — унутры, *кітас* — клетка, ячэйка) — паглынанне клеткай знешніх часцінак шляхам утварэння мембранных пузыркоў. Пры эндацытозе пэўны ўчастак плазмалемы абвалаквае пазаклетачны матэрыял, захоплівае яго і заключае ў мембранную ўпакоўку (мал. 32).

Выдзяляюць такія разнавіднасці эндацытозу, як фагацытоз (захоп і паглынанне цвёрдых часцінак) і пінацытоз (паглынанне вадкасці).

Шляхам эндацытозу ажыццяўляецца жыўленне гетэратрофных пратыстаў, ахоўныя рэакцыі арганізма (паглынанне лейкацытамі чужародных часцінак) і інш.

Экзацытоз (ад грэч. экза — звонку) — транспарціроўка рэчываў, заключаных у мембранную ўпакоўку, з клеткі ў знешняе асяроддзе. Напрыклад, пузырок комплексу Гольджы перамяшчаецца да цыта-

плазматычнай мембраны і зліваецца з ёю, а змесціва пузырка выдзяляецца ў знешняе асяроддзе. Такім чынам клеткі выдзяляюць стрававальныя ферменты, гармоны і іншыя рэчывы.

? **1.** Ці можна ўбачыць плазмалему ў светлавы мікраскоп? Які хімічны састаў і будова цытаплазматычнай мембраны?

2. Што такое глікакалікс? Для якіх клетак ён характэрны?

3. Пералічыце і растлумачце асноўныя функцыі плазмалемы.

4. Якімі спосабамі можа ажыццяўляцца транспарт рэчываў праз мембрану? У чым заключаецца прынцыповае адрозненне пасіўнага транспарту ад актыўнага?

5. Чым адрозніваюцца працэсы фагацытозу і пінацытозу? У чым выяўляецца падабенства гэтых працэсаў?

6. Параўнайце розныя тыпы транспарту рэчываў у клетку. Назавіце рысы іх падабенства і адрознення.

7. Якія функцыі не змагла б выконваць цытаплазматычная мембрана, калі б у яе састаў не ўваходзілі бялкі? Адказ абгрунтуйце.

8. Некаторыя рэчывы (напрыклад, дыэтылавы эфір, хлараформ) пранікаюць праз біялагічныя мембраны нават хутчэй, чым вада, хоць іх малекулы нашмат большыя за малекулы вады. З чым гэта звязана?

§ 13. Гіялаплазма. Цыташкілет

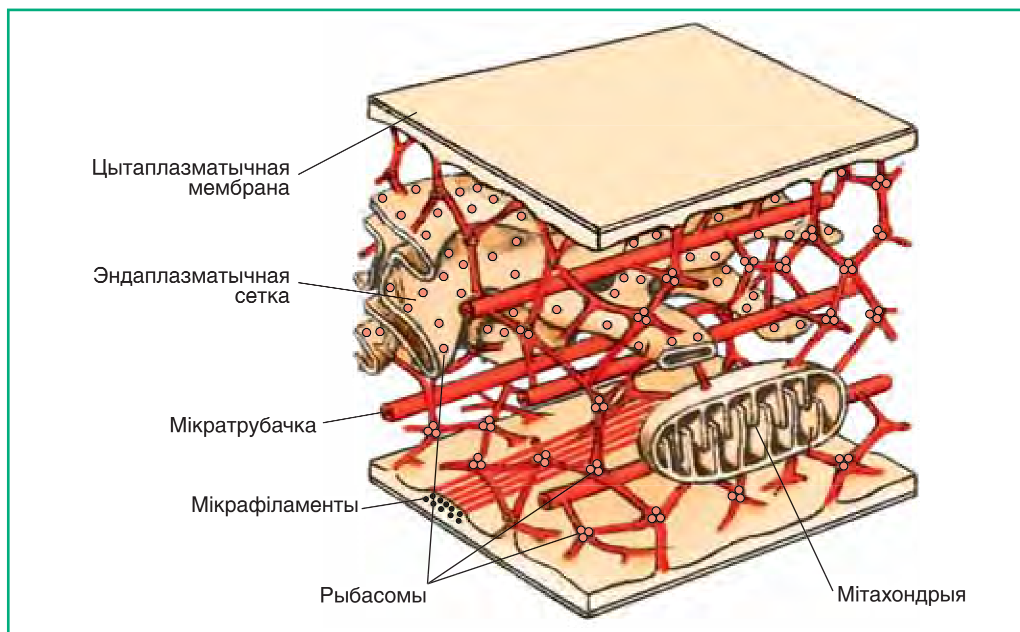
Гіялаплазма (ад грэч. *хіялас* — шкло, *плазма* — аформлены) — унутранае асяроддзе клеткі, у якім размяшчаюцца ўсе ўнутрыклетачныя структуры і адбываюцца разнастайныя працэсы абмену рэчываў. Гіяплазма ўяўляе сабой густы бясколерны вязкі раствор, утрыманне вады ў якім складае 70—90 %. У гіялаплазме ўтрымліваецца шмат бялкоў, прысутнічаюць вугляводы, ліпіды і розныя неарганічныя злучэнні. Тут жа ў раствораным выглядзе знаходзяцца амінакіслоты, нуклеатыды і іншыя «будаўнічыя бялкі» біяпалімераў, а таксама прамежкавыя прадукты, якія ўтвараюцца ў працэсе абмену рэчываў.

Гіялаплазма аб’ядноўвае ўсе клетачныя структуры і забяспечвае хімічнае ўзаемадзеянне паміж імі.

Цыташкілет (унутрыклетачны цытаплазматычны шкілет) — састаўная частка цытаплазмы, яе механічны каркас. Цыташкілет уяўляе сабой складаную трохмерную сетку мікрафіламентаў і мікратрубачак (мал. 33).

Мікрафіламенты — тонкія бялковыя валокны (фібрылы), якія складаюцца з дзвюх спіральна закручаных адна вакол другой ніцей. Кожная ніць узнікае ў выніку полімерызацыі малекул бялку а к т ы н у (мал. 34, *а*).

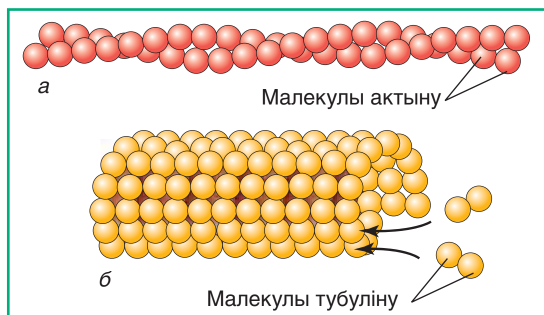
У клетцы выяўляюцца таксама фібрылы іншага важнага бялку — м і я з і н у. Міязінавыя фібрылы разам з актынавымі мікрафіламентамі ўтвараюць комплекс, здольны скарачацца за кошт выкарыстання энергіі АТФ.



Мал. 33. Схема арганізацыі цыташкілета

Мікратрубачкі змяшчаюцца ва ўсіх эўкарыятычных клетках. Яны ўяўляюць сабой тонкія полыя неразгалінаваныя трубачкі, утвораныя малекуламі бялку тубуліну (мал. 34, *б*).

Цыташкілет выконвае розныя функцыі. Напрыклад, ён упарадкоўвае размяшчэнне ўсіх структурных кампанентаў клеткі. Мікратрубачкі цыташкілета падтрымліваюць пэўную форму клеткі. Яны размяшчаюцца такім чынам, каб процідзейнічаць расцяжэнню і сцісканню клеткі. Акрамя механічных функцый, мікратрубачкі забяспечваюць унутрыклетачны транспарт. Уздоўж мікратрубачак з дапамогай спецыяльных бялкоў перамяшчаюцца розныя часцінкі, гранулы, вакуолі і іншыя клетачныя кампаненты. Падчас дзялення клеткі мікратрубачкі прымаюць



Мал. 34. Схема будовы мікрафіламента (*а*) і мікратрубачкі (*б*)

непасрэдны ўдзел ва ўтварэнні верацяна дзялення і ў расцягванні храмасом да полюсаў клеткі.

Мікрафіламенты ўзаемадзейнічаюць з мікратрубачкамі паверхневага слоя цытаплазмы і з цытаплазматычнай мембранай. Яны забяспечваюць рухальную актыўнасць гіялаплазмы, працэсы эндацытозу і экзацытозу. Узаемадзеянне элементаў цыташкілета з плазмалемай таксама ляжыць у аснове амебоіднага руху, характэрнага для некаторых клетак (напрыклад, *амёб, лейкацытаў*).

Элементы цыташкілета вельмі дынамічныя. У пэўных участках клеткі пры змяненні знешніх і ўнутраных умоў яны могуць распадацца і зноў збірацца. Асобныя бялковыя малекулы, якія ўтвараюцца пры разборцы мікратрубачак і мікрафіламентаў, пераходзяць у раствор у саставе гіялаплазмы. Пры зборцы элементаў цыташкілета назіраецца адваротны працэс.

? **1.** Што з'яўляецца ўнутраным асяроддзем клеткі? Як называецца апорна-рухальны апарат клеткі, прадстаўлены сеткай вельмі тонкіх ніцей і трубачак?

Ядро, арганоіды, цыташкілет, цытаплазма, гіялаплазма, уключэнні.

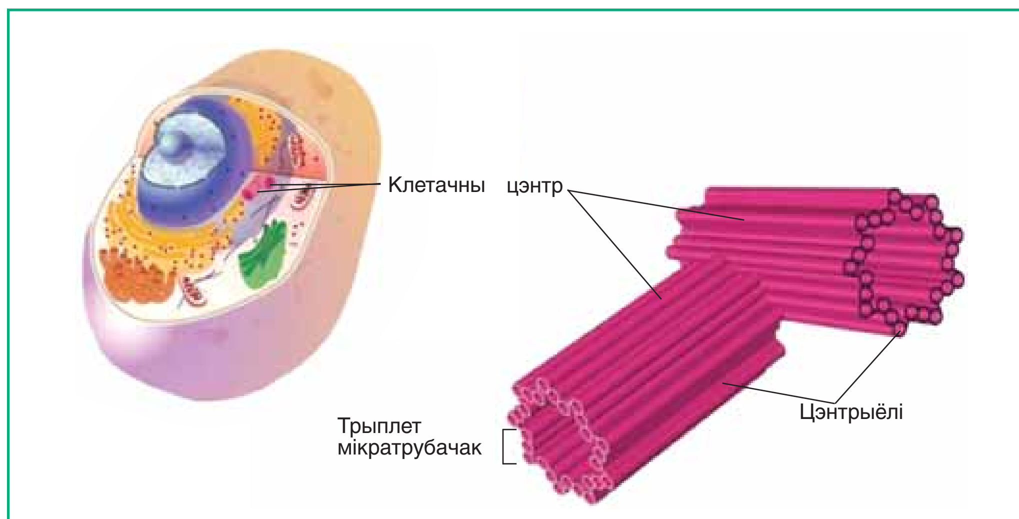
2. Што ўяўляе сабой гіялаплазма? Які яе хімічны састаў? Якія функцыі яна выконвае?
3. У чым адрозненне паміж паняццямі «цытаплазма» і «гіялаплазма»?
4. З чаго складаецца цыташкілет? Якія яго функцыі ў клетцы?
5. Чым мікратрубачкі адрозніваюцца ад мікрафіламентаў?
6. У чым праяўляецца дынамічнасць структурных элементаў цыташкілета?
7. Вядома, што гіялаплазма можа мяняць вязкасць і цякучасць, пераходзячы з вадкага стану ў гелепадобны і наадварот. Прапануйце гіпотэзы, якім чынам гэта можа ажыццяўляцца.

§ 14. Клетачны цэнтр. Рыбасомы

Клетачны цэнтр ёсць у большасці жывёльных клетак, а таксама ў некаторых *грыбоў, водарасцей, імхоў* і *папаратнікаў*. Ён размешчаны паблізу ядра і ўтвораны двума полымі цыліндрамі — ц э н т р ы ё л я м і. Кожная цэнтрыёль складаецца з дзевяці трыплетаў мікратрубачак (9×3), звязаных спецыяльнымі бялкамі ў адзіную сістэму (мал. 35). Цэнтрыёлі размяшчаюцца перпендыкулярна адна да другой. Ад іх у розных напрамках адыходзяць шматлікія мікратрубачкі.

Функцыя цэнтрыёляў — запуск зборкі мікратрубачак, г. зн. яны з'яўляюцца цэнтрам «вытворчасці» мікратрубачак. Да цэнтрыёляў транспартуецца бялок тубулін, з малекул якога і збіраюцца мікратрубачкі. Далей яны накіроўваюцца ў розныя ўчасткі клеткі, дзе і выконваюць свае функцыі.

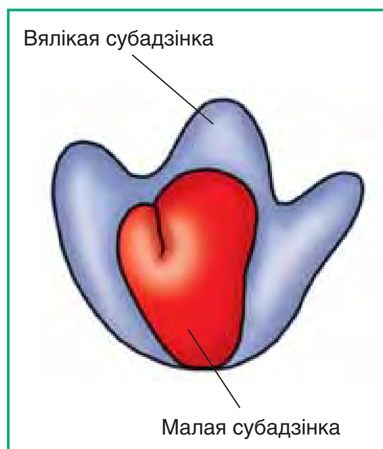
Пры падрыхтоўцы клеткі да дзялення адбываецца падваенне цэнтрыёляў. Падчас дзялення яны папарна разыходзяцца да супрацьлеглых полюсаў клеткі



Мал. 35. Схема размяшчэння і будовы клетачнага цэнтра

і ўдзельнічаюць ва ўтварэнні в е р а ц я н а д з я л е н н я. Такім чынам, падчас дзялення ў клетцы змяшчаецца дзве пары цэнтрыёляў (па адной пары каля кожнага полюса).

Рыбасомы — немембранныя арганоіды, якія ажыццяўляюць сінтэз бялку. Яны вельмі малыя (15—30 нм) і змяшчаюцца як у эўкарыятычных клетках, так і ў клетках пракарыёт (бактэрый). Колькасць рыбасом у розных тыпах клетак складае ад некалькіх тысяч да некалькіх мільёнаў.



Мал. 36. Схема будовы рыбасомы

Рыбасома складаецца з дзвюх с у б а д з і н а к — вялікай і малой (мал. 36). Кожная субадзінка ўяўляе сабой комплекс рыбасомных РНК (рРНК) з бялкамі. Субадзінкі рыбасом фарміруюцца ў ядры, а затым праз ядзерныя поры выходзяць у цытаплазму. На рыбасомах ажыццяўляецца зборка малекул бялкоў з амінакіслот, якія дастаўляюцца малекуламі транспартных РНК (тРНК).

Вялікія і малыя субадзінкі рыбасом размяшчаюцца ў цытаплазме асобна адна ад другой і аб'ядноўваюцца толькі для сінтэзу бялку. Іні-

цыятарам зборкі рыбасомы з'яўляецца малекула інфармацыйнай (матрычнай) РНК (іРНК, мРНК), якая змяшчае інфармацыю аб структуры таго бялку, які трэба сінтэзаваць.

Сфарміраваныя рыбасомы могуць знаходзіцца ў свабодным стане ў гіялаплазме або прымацоўвацца да паверхні эндаплазматычнай сеткі ці ядра. Свабодныя рыбасомы сінтэзуюць бялкі, неабходныя для патрэб самой клеткі. Рыбасомы, прымацаваныя да эндаплазматычнай сеткі і абалонкі ядра, сінтэзуюць бялкі, прызначаныя для вывядзення з клеткі, а таксама розныя мембранныя бялкі.

? **1.** Чым з'яўляюцца клетачны цэнтр і рыбасомы?

Клетачнымі ўключэннямі, немембраннымі арганоідамі, мембраннымі арганоідамі.

2. Якая будова клетачнага цэнтра?

3. Чаму клетачны цэнтр называюць «цэнтрам арганізацыі мікратрубачак»?

4. Ахарактарызуйце хімічны састаў, будову і функцыю рыбасом.

5. Якія з пералічаных бялкоў сінтэзуюцца на свабодных рыбасомах, а якія — на рыбасомах, прымацаваных да паверхні эндаплазматычнай сеткі або ядра клеткі? Выберыце правільны адказ і абгрунтуйце яго.

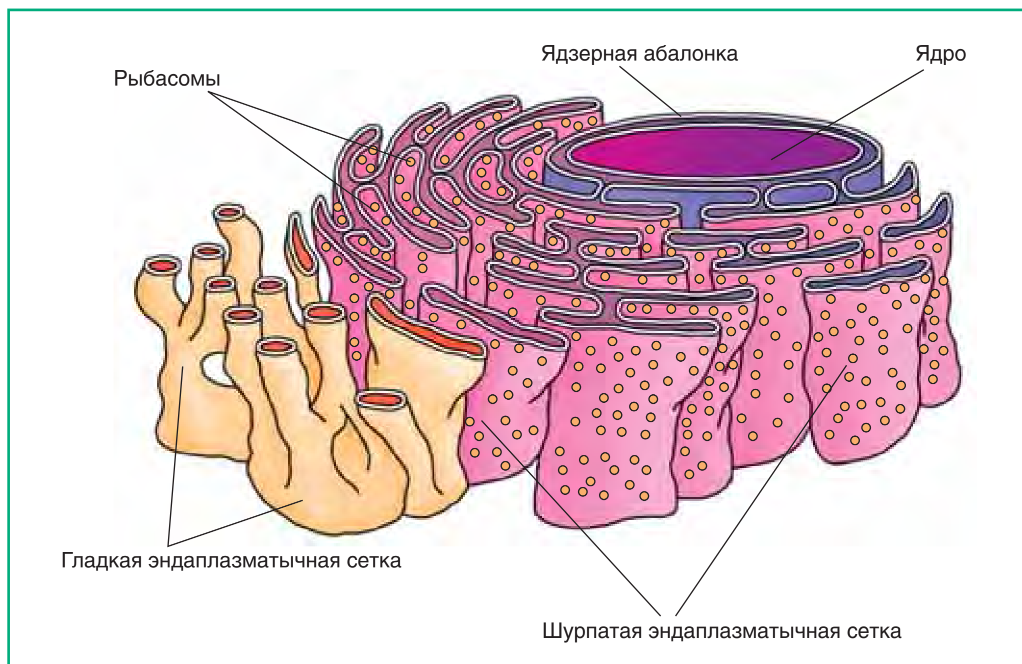
а) Інсулін у клетках падстраўнікавай залозы.
б) Бялкі-рэцэптары нейрамедыятараў у нервовых клетках.
в) Гемаглабін у маладых эрытрацытах.
г) Тубулін у клетках растковага слоя эпідэрмісу скуры.
д) Фібрынаген у клетках печані.

6. Як вы думаеце, дзе змяшчаецца больш рыбасом — у клетках валасяных цыбулін ці ў клетках тлушчавай тканкі? Чаму?

7. Вядома некалькі груп рэчываў, здольных звязвацца з рыбасомамі пракарыёт і парушаць іх нармальнае функцыянаванне. Важна тое, што гэтыя рэчывы не аказваюць падобнага ўздзеяння на рыбасомы эўкарыёт. Дзе знаходзяць прымяненне такія рэчывы? У сувязі з чым?

§ 15. Эндаплазматычная сетка. Комплекс Гольджы. Лізасомы

Эндаплазматычная сетка (ЭПС), або ***эндаплазматычны рэтыкулум (ЭПР)***, уяўляе сабой сістэму каналаў і поласцей, якія акружаны мембранай і пранізваюць гіялаплазму клеткі. Мембрана эндаплазматычнай сеткі мае будову, падобную да будовы плазмалемы. Каналы і поласці ЭПС, якія займаюць да 50 % аб'ёму клеткі, нідзе не абрываюцца і не адкрываюцца ў гіялаплазму (мал. 37). Адрозніваюць шурпатую і гладкую ЭПС.



Мал. 37. Схема будовы эндаплазматычнай сеткі

На мембране шурпатай ЭПС размешчана мноства рыбасом. Менавіта тут сінтэзуюцца бялкі, якія выводзяцца за межы клеткі. На рыбасомах шурпатай ЭПС таксама сінтэзуюцца мембранныя бялкі.

На паверхні гладкай ЭПС адбываецца сінтэз вугляводаў і ліпідаў. Акрамя таго, у гладкай ЭПС назапашваюцца іоны кальцыю — важныя рэгулятары функцый клетак і арганізма ў цэлым. Гладкая ЭПС клетак печані ажыццяўляе працэсы расшчаплення і абясшкоджвання таксічных рэчываў.

Рэчывы, якія ўтвараюцца на мембранах ЭПС, назапашваюцца ўнутры поласцей сеткі і пераўтвараюцца. Напрыклад, бялкі набываюць уласцівую ім другасную, трэцічную або чацвярцічную структуру. Затым рэчывы, якія ўтварыліся, заключаюцца ў мембранныя пузыркі і транспартуюцца ў комплекс Гольджы.

Шурпатая ЭПС лепш развіта ў тых клетках, якія сінтэзуюць вялікую колькасць бялкоў (напрыклад, у клетках слюнных залоз і падстраўнікавай залозы, якія ажыццяўляюць сінтэз стрававальных ферментаў; у клетках падстраўнікавай залозы і гіпофізу, якія выпрацоўваюць гармоны бялковай прыроды). Гладкая ЭПС добра развіта ў клетках, якія сінтэзуюць, напрыклад, поліцукрыды і ліпіды (клеткі

надныраччнікаў і палавых залоз, якія выпрацоўваюць стэроідныя гармоны; клеткі печані, што ажыццяўляюць сінтэз глікагену і інш.).

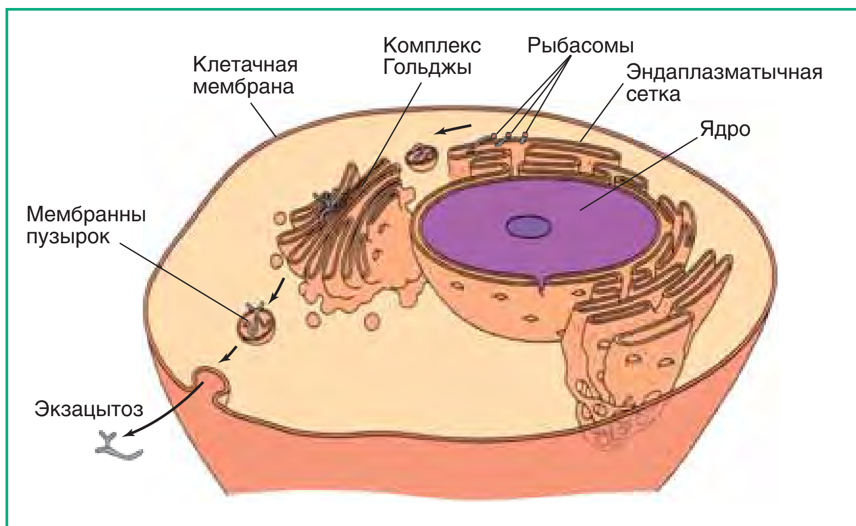
Комплекс (апарат) Гольджы — гэта сістэма ўнутрыклетачных мембранных структур: цыстэрнаў і пузыркоў, у якіх назапашваюцца рэчывы, сінтэзаваныя на мембранах ЭПС (мал. 38, 39).

Рэчывы дастаўляюцца ў комплекс Гольджы ў мембранных пузырках, якія адшнуроўваюцца ад эндаплазматычнай сеткі і далучаюцца да цыстэрнаў комплексу Гольджы. Тут гэтыя рэчывы зведваюць розныя біяхімічныя пераўтварэнні, а затым зноў упакоўваюцца ў мембранныя пузыркі, і большая іх частка транспартуецца да цытаплазматычнай мембраны. Мембрана пузыркоў зліваецца з цытаплазматычнай мембранай, а змесціва выводзіцца за межы клеткі шляхам экзацытозу.

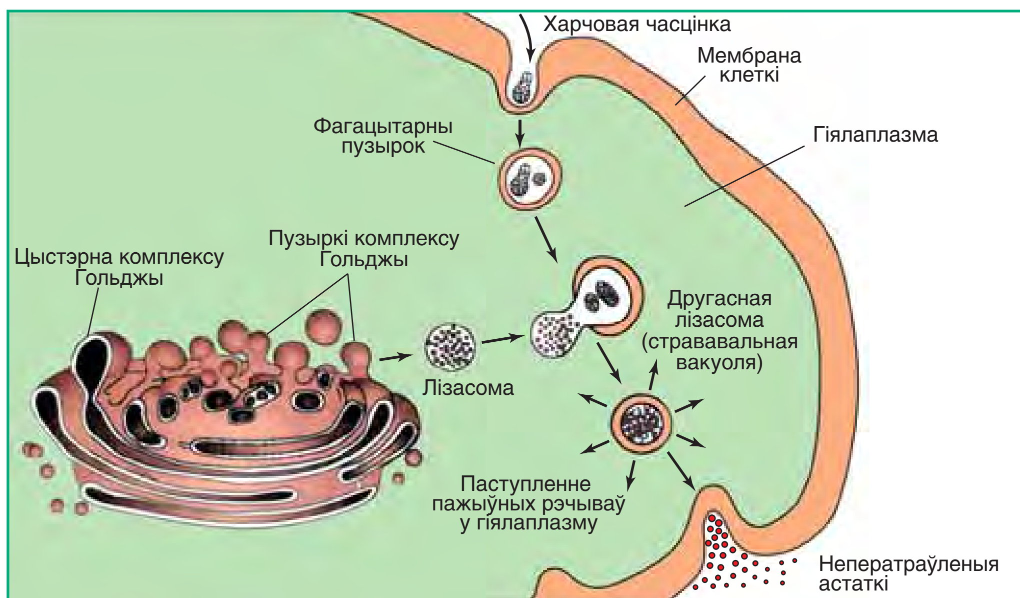
У комплексе Гольджы раслінных клетак сінтэзуюцца поліцукрыды клетачнай сценкі (абалонкі).

Яшчэ адна важная функцыя комплексу Гольджы — гэта ўтварэнне лізасом.

Лізасомы — гэта невялікія мембранныя пузыркі, якія адшнуроўваюцца ад цыстэрнаў комплексу Гольджы і ўтрымліваюць набор стрававальных ферментаў. Ферменты лізасом здольны расшчапляць бялкі, вугляводы, ліпіды, нуклеінавыя кіслоты. Калі ў клетку шляхам фагацытозу трапляюць харчовыя часцінкі, іх неабходна пераравіць, г. зн. расшчапіць да такіх рэчываў, якія клетка магла б выкарыстаць. Для таго каб пераратраўліванне стала магчымым,



Мал. 38. Схема размяшчэння комплексу Гольджы



Мал. 39. Схема ператраўлівання харчовай часцінкі пры ўдзеле лізасомы

фагацытарны пузырок, у якім знаходзіцца харчовая часцінка, павінен зліцца з лізасомай (мал. 39).

Шляхам зліцця лізасомы з фагацытарным пузырком утвараецца другасная лізасома. У ёй пад уздзеяннем ферментаў пажыўныя рэчывы расшчапляюцца да манамераў, якія пры дапамозе дыфузіі трапляюць у гіялаплазму. Неператраўленыя астаткі выводзяцца за межы клеткі шляхам экзацытозу. Другасныя лізасомы, якія ўтвараюцца ў клетках пратыстаў, звычайна называюць **стрававальнымі вакуолямі**.

Акрамя ператраўлівання рэчываў, якія трапляюць у клетку звонку, лізасомы прымаюць удзел у расшчапленні ўнутраных кампанентаў клеткі (малекул і цэлых арганоідаў), пашкоджаных або якія адслужылі свой тэрмін. Гэты працэс атрымаў назву аўтафагіі. Акрамя таго, пад уздзеяннем ферментаў лізасом можа адбывацца самаператраўліванне старых, якія страцілі функцыянальную актыўнасць, або пашкоджаных клетак і тканак.

? **1.** Да якой групы арганоідаў адносяцца лізасомы, эндаплазматычная сетка і апарат Гольджы?

Аднамембранныя, двухмембранныя, немембранныя.

2. Якая будова і функцыі эндаплазматычнай сеткі? Чым шурпатая ЭПС адрозніваецца ад гладкай?

3. Як пабудаваны комплекс Гольджы? Якія функцыі ён выконвае?

4. Самыя буйныя комплексы Гольджы (да 10 мкм) выяўлены ў клетках эндакрынных залоз. Як вы думаеце, з чым гэта звязана?

5. Што агульнае ў будове і функцыях эндаплазматычнай сеткі і комплексу Гольджы? Чым яны адрозніваюцца?

6. Што ўяўляюць сабой лізасомы? Як яны ўтвараюцца? Якія функцыі выконваюць?

7. Падумайце, чаму ферменты, якія знаходзяцца ў лізасоме, не расшчапляюць яе ўласную мембрану. Да якіх вынікаў для клеткі можа прывесці разрыў мебран лізасом?

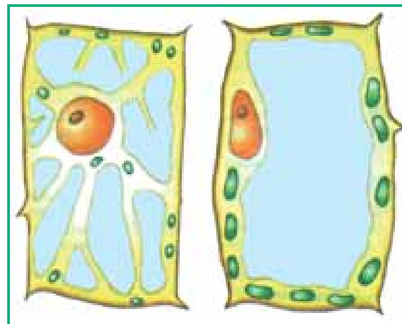
8. Выяўлена, што да малекул многіх рэчываў, якія падлягаюць вывядзенню з клеткі, у комплексе Гольджы «прышываюцца» пэўныя аліга- або поліцукрыды, прычым да розных рэчываў — розныя вугляводныя кампаненты. У такім мадыфікаваным выглядзе рэчывы і выводзяцца ў пазаклетачнае асяроддзе. Як вы думаеце, для чаго гэта патрэбна?

§ 16. Вакуолі

У клетках *раслін, грыбоў* і многіх *пратыстаў* ўтрымліваюцца **вакуолі** — буйныя мембранныя пузыркі або поласці, запоўненыя пераважна водным змесцівам. Вакуолі ўтвараюцца з пузырападобных расшырэнняў эндаплазматычнай сеткі або з пузыркоў комплексу Гольджы.

Вакуолі раслінных клетак. У маладых клетках раслін узнікае шмат невялікіх вакуоляў. Павялічваючыся, яны зліваюцца ў адну цэнтральную вакуолю, якая можа займаць да 90 % аб'ёму клеткі (мал. 40).

Змесціва вакуоляў — **клетачны сок**. Ён уяўляе сабой водны раствор розных неарганічных і арганічных рэчываў. Хімічны састаў і канцэнтрацыя клетачнага соку вельмі зменлівыя і залежаць ад віду расліны, органа, тканкі і ўзросту клеткі. У клетачным соку могуць утрымлівацца солі, вугляводы (перш за ўсё цукроза, глюкоза, фруктоза), карбонавыя кіслоты (яблычная, лімонная, шчаўевая, воцатная), амінакіслоты, бялкі. Гэта запасныя рэчывы, якія часова выведзены з абмену рэчываў і могуць выкарыстоўвацца клеткай зноў.



Мал. 40. Вакуолі ў клетках раслін

Акрамя запасных рэчываў, клетачны сок змяшчае канечныя прадукты абмену, якія выводзяцца ў вакуолю і такім чынам ізалююцца. Гэта, напрыклад, таніны (дубільныя рэчывы), алкалоіды, некаторыя пігменты. Лічыцца, што таніны з іх вяжучым смакам

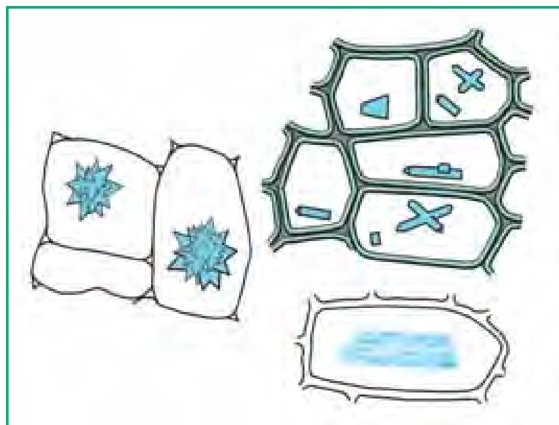
і алкалоіды выконваюць ахоўную функцыю: іх непрыемны (часцей горкі) смак і спецыфічны пах адштурхоўваюць траваедных жывёл, што прадухіляе паяданне гэтых раслін.

У вакуолях часта выяўляюцца розныя па форме крышталі аксалату кальцыю, які таксама з'яўляецца канечным прадуктам абмену рэчываў (мал. 41).

У клетачным соку многіх раслін змяшчаюцца пігменты. Самымі распаўсюджанымі з іх з'яўляюцца а н т а ц ы я н ы, якія надаюць клетачнаму соку пурпуровы, чырвоны, сіні або фіялетавы колер. Блізкія да антацыянаў ф л а в а н о і д ы афарбоўваюць клетачны сок у жоўтыя і крэмавыя адценні. Менавіта гэтыя пігменты вызначаюць афарбоўку пялёсткаў, пладоў, пупышак, лістоў і караняплодаў многіх раслін. Напрыклад, колер караняплодаў буракоў абумоўлены антацыянамі.

Колер антацыянаў можа мяняцца ў залежнасці ад кіслотнасці асяроддзя: у кіслым асяроддзі ён чырвоны, у нейтральным — фіялетавы, у шчолачным — сіні. Акрамя таго, могуць назірацца ўсе пераходныя адценні. Рэакцыя клетачнага соку ў працэсе жыццядзейнасці раслін можа мяняцца ад моцнакіслай да слабакіслай або нават слабашчолачнай, што выклікае адпаведныя змяненні колеру пігментаў. Таму кветкі некаторых раслін (напрыклад, *медуніцы няяснай*) падчас цвіцення могуць змяняць сваю афарбоўку ад ружовай да сіняй.

Клетачны сок некаторых раслін змяшчае б і я л а г і ч н а а к т ы ў н ы я р э ч ы в ы, напрыклад ф і т а г а р м о н ы (рэгулятары і каардынатары росту раслін), ф і т а н ц ы д ы (рэчывы, якія знішчаюць мікраарганізмы або прыгнятаюць іх рост), ф е р м е н т ы. У апошнім выпадку вакуолі дзейнічаюць падобна да лізасом. Пасля гібелі клеткі мембрана, якая абмяжоўвае вакуолю, губляе сваю выбіральную пранікальнасць, і ферменты, вызваляючыся з вакуоляў, выклікаюць самаператраўліванне клеткі (а ў т о л і з).



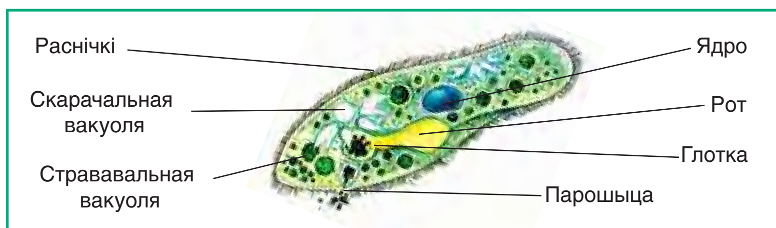
Мал. 41. Крышталі аксалату кальцыю ў вакуолях

Вакуолі адыгрываюць галоўную ролю ў паглынанні вады расліннымі клеткамі. Вада трапляе ў вакуолю шляхам осмасу (паколькі клетачны сок з'яўляецца больш канцэнтраваным растворам, чым гіялаплазма) і аказвае ціск на цытаплазму, а тым самым і на абалонку клеткі. У выніку ў клетцы развіваецца тургорны ціск, які абумоўлівае напружаны стан клетачнай абалонкі, а таксама яе расцяжэнне падчас росту клеткі.

У запасальных тканках раслін замест адной цэнтральнай вакуолі часта бывае некалькі. У такіх вакуолях збіраюцца запасныя пажыўныя рэчывы (вугляводы і бялкі). Вугляводы ў вакуолях могуць знаходзіцца ў раствораным выглядзе (мона- і алігацукрыды) або ў выглядзе гранул (поліцукрыды). Бялкі адкладваюцца ў выглядзе цвёрдых зярністых утварэнняў. Іх асабліва шмат у клетках насення збожжавых і бабовых.

Скарачальныя (пульсуючыя) вакуолі характэрны для аднаклетачных прэснаводных пратыстаў, напрыклад *інфузорыі туфелькі* (мал. 42). Канцэнтрацыя солей у рачной або азёрнай вадзе значна ніжэйшая, чым у клетках пратыстаў, таму вада бесперапынна трапляе ў іх клеткі шляхам осмасу. Лішак вады збіраецца ў скарачальных вакуолях, якія перыядычна скарачаюцца дзякуючы ўзаемадзеянню размешчаных вакол іх мікратрубачак і мікрафіламентаў. Вада выводзіцца вонкі праз спецыяльную выдзяляльную пору, і клетка захоўвае больш або менш пастаянны аб'ём. Такім чынам, скарачальныя вакуолі выконваюць у клетках функцыю осмарэгуляцыі — падтрымліваюць на пэўным узроўні ўтрыманне вады і канцэнтрацыю солей.

Такім чынам, вакуолі выконваюць у клетках важныя функцыі, звязаныя з рэгуляцыяй воднага рэжыму і падтрыманнем тургору клеткі, а таксама з захаваннем запасных пажыўных рэчываў, біялагічна актыўных рэчываў і канечных прадуктаў жыццядзейнасці клеткі.



Мал. 42. Інфузорыя туфелька

1. Што ўяўляюць сабой вакуолі? Як яны ўтвараюцца?
2. Якія рэчывы змяшчаюцца ў клетачным соку вакуоляў раслінных клетак?
3. Якія функцыі выконваюць вакуолі ў раслінных клетках?
4. У якіх арганізмаў ёсць скарачальныя вакуолі? Якая іх функцыя?
5. Чым стрававальныя вакуолі адрозніваюцца ад іншых вакуоляў клеткі?
6. Амёбу і эрытрацыт змясцілі ў дыстыляваную ваду. Што адбудзецца з кожнай клеткай? Чаму?
7. Дакажыце справядлівасць сцверджання: «Аднамембранныя арганоіды клеткі ўзаемазвязаны і ўтвараюць адзіную мембранную сістэму, кожны кампанент якой спецыялізаваны на выкананні пэўных функцый».
8. У марскіх пратыстаў скарачальныя вакуолі пульсуюць вельмі рэдка або зусім адсутнічаюць. З чым гэта звязана?

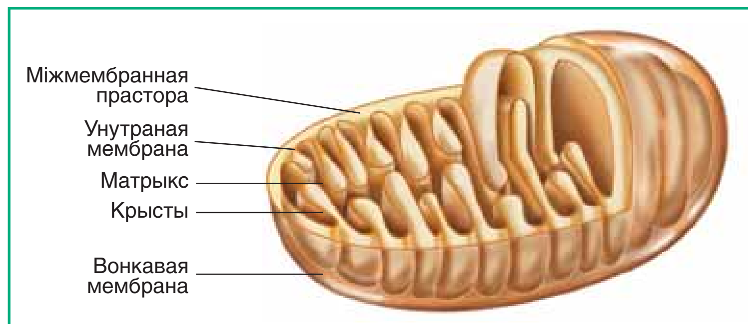
§ 17. Мітахондрыі. Пластыды

Мітахондрыі (ад грэч. *мітас* — нітка, *хандрыён* — зерне) — арганоіды, якія ўдзельнічаюць у працэсе клетачнага дыхання і забяспечваюць клетку энергіяй у выглядзе АТФ. Мітахондрыі сустракаюцца практычна ва ўсіх эўкарыятычных клетках. Іх колькасць у розных клетках вар'іруецца ад адной або некалькіх (аднаклетачныя пратысты, сперматазоіды) да сотняў тысяч. Асабліва шмат мітахондрый змяшчаецца ў тых клетках, якія маюць патрэбу ў вялікай колькасці энергіі (клеткі мышцаў, печані). У фотасінтэзуючых клетках раслін мітахондрый менш, чым у клетках жывёл, паколькі іх функцыі (сінтэз АТФ) часткова выконваюць хларапласты.

Мітахондрыі могуць мець выгляд акруглых цельцаў, палачак, ніцей. Яны ўтвораны дзвюма мембранамі — вонкавай і ўнутранай, паміж якімі ёсць міжмембранная прастора (мал. 43). Вонкавая мембрана гладкая, яна аддзяляе змесціва мітахондрыі ад гіялаплазмы і адрозніваецца высокай пранікальнасцю для розных рэчываў. Унутраная мембрана менш пранікальная, яна ўтварае крысты — шматлікія складкі, накіраваныя ўнутр мітахондрый. За кошт крыстаў плошча паверхні ўнутранай мембраны істотна павялічваецца. Унутраная мембрана мітахондрый змяшчае ферменты, якія ўдзельнічаюць у працэсе клетачнага дыхання і забяспечваюць сінтэз АТФ.

Унутраная прастора мітахондрый запоўнена гелепадобным матрыксам. У ім змяшчаюцца розныя бялкі, у тым ліку ферменты, амінакіслоты, кальцавыя малекулы ДНК, усе тыпы РНК і іншыя рэчывы, а таксама рыбасомы. Наяўнасць уласных малекул ДНК і рыбасом забяспечвае некаторую аўтаномнасць мітахондрый, хоць у цэлым іх работа каардынуецца ядром клеткі.

Функцыя мітахондрый — сінтэз АТФ за кошт энергіі, якая вызваляецца пры акісленні арганічных злучэнняў. Пачатковыя этапы акіслення рэчываў у міта-

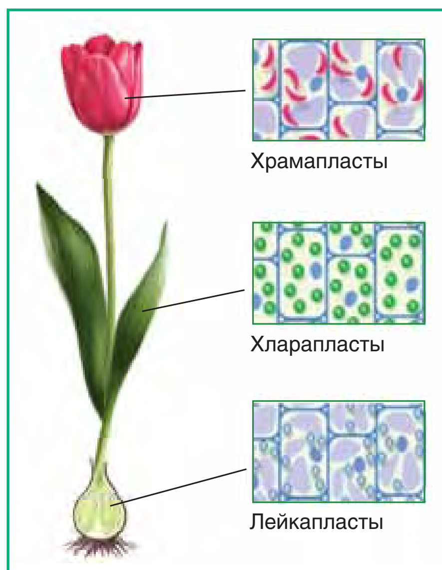


Мал. 43. Схема будовы мітахондрыі

хондрыях адбываюцца ў матрыксе, а наступныя — на ўнутранай мембране. Такім чынам, мітахондрыі з'яўляюцца «энергетычнымі станцыямі» клеткі.

Мітахондрыі ў клетцы пастаянна аднаўляюцца. Напрыклад, у клетках печані сярэдняя працягласць жыцця мітахондрый складае каля 10 дзён. Павелічэнне колькасці мітахондрый у клетцы адбываецца шляхам іх дзялення.

Пластыды (ад грэч. *пластас* — вылеплены, аформлены) — арганоіды клетак раслін і водарасцей. У раслін адрозніваюць тры асноўныя тыпы пластыд: хларапласты, храмапласты і лейкапласты (мал. 44).



Мал. 44. Тры тыпы пластыд у клетках расліны

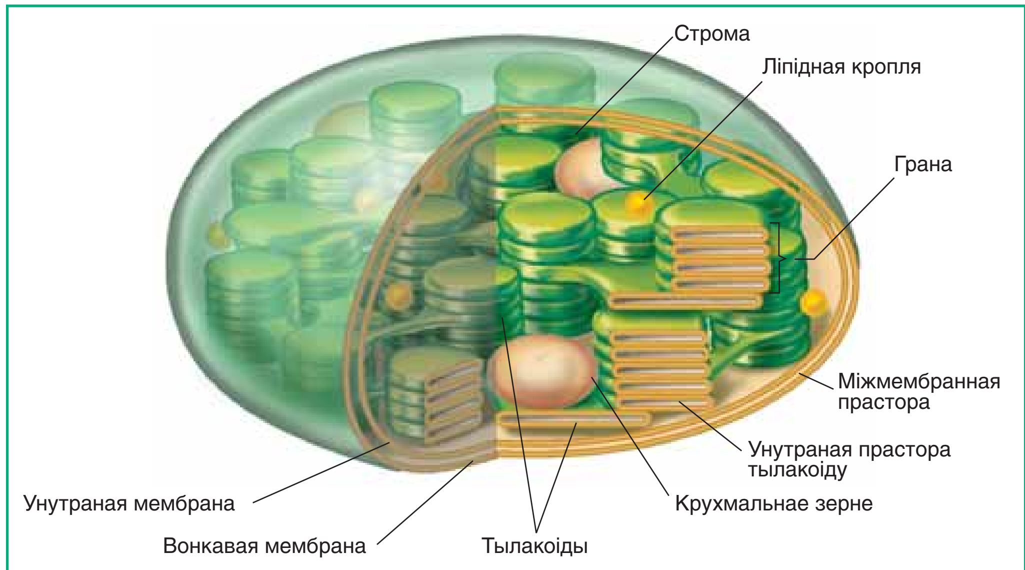
Хларапласты (ад грэч. *хлорас* — зялёны) — арганоіды, якія ажыццяўляюць працэс фотасінтэзу. Зялёны колер хларапластаў абумоўлены прысутнасцю ў іх асноўных фотасінтэтычных пігментаў — х л а р а ф і л а ў. Хларапласты ўтрымліваюць таксама дапаможныя пігменты — аранжавыя, жоўтыя або чырвоныя к а р а ц і н о і д ы.

У раслін у адной клетцы ліста можа знаходзіцца некалькі дзясяткаў хларапластаў, а ў некаторых водарасцей — толькі 1—2 гіганцкія хларапласты (успомніце будову *хларэлы* або *спірагіры*).

Часцей за ўсё хларапласты маюць форму дваякавыпуклай лінзы. Як і для мітахондрый, для хларапластаў характэрна двухмембранная будова (мал. 45). Паміж в о н к а в а й і ў н у т р а н а й мембранамі знаходзіцца м і ж м е м б р а н н а я п р а с т о р а. Вонкавая мембрана роўная, яна абмяжоўвае хларапласт. Унутраная мембрана ў працэсе развіцця хларапласту ўтварае замкнутыя дыскападобныя ўтварэнні — т ы л а к о і д ы. Стосікі ляжачых адзін на другім тылакоідаў называюцца г р а н а м і.

У мембранах тылакоідаў размешчаны фотасінтэтычныя пігменты, якія паглынаюць святло, а таксама ферменты, што ўдзельнічаюць у пераўтварэнні энергіі святла.

Унутранае асяроддзе хларапласту — с т р о м а. У ёй змешчаны кальцавыя малекулы ДНК, усе тыпы РНК, рыбасомы, запасныя рэчывы (ліпіды, зерні крахмалу) і розныя бялкі, у тым ліку ферменты, якія ўдзельнічаюць у фіксацыі CO_2.



Мал. 45. Схема будовы хларапласту

Асноўная функцыя хларапластаў — ажыццяўленне фотасінтэзу. Акрамя таго, у іх адбываецца сінтэз АТФ, некаторых ліпідаў і бялкоў.

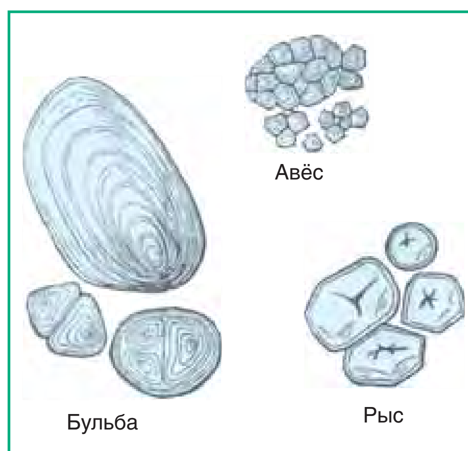
Як і мітахондрыі, хларапласты здольны дзяліцца, дзякуючы чаму іх колькасць у клетцы можа павялічвацца.

Лейкапласты (ад грэч. *лейкас* — белы) — бясколерныя пластыды. Яны не маюць гранаў і не ўтрымліваюць пігментаў (мал. 46). У лейкапластах адкладваюцца запасныя пажыўныя рэчывы — крухмал, бялкі, тлушчы. У строме лейкапластаў змяшчаюцца ДНК, РНК, рыбасомы, а таксама ферменты, якія забяспечваюць сінтэз і расшчапленне запасных рэчываў. Некаторыя лейкапласты цалкам запоўнены крухмалам. Яны называюцца крухмальнымі зернямі (мал. 47).

Храмапласты (ад грэч. *храматас* — фарба) адрозніваюцца ад іншых пластыд разнастайнай формай і афарбоўкай. Яны бываюць дыскападобнымі, серпападобнымі, рамбічнымі, пірамідальнымі і інш. (мал. 48). Аранжавы, жоўты або чырвоны колер храмапластаў абумоўлены караціноідамі. Прысутнасцю гэтых пігментаў у храмапластах тлумачыцца яркая афарбоўка пладоў *таматаў, рабіны, шыпшыны*, караняплодаў *морквы*. Унутраная сістэма мембран у храмапластах адсутнічае.

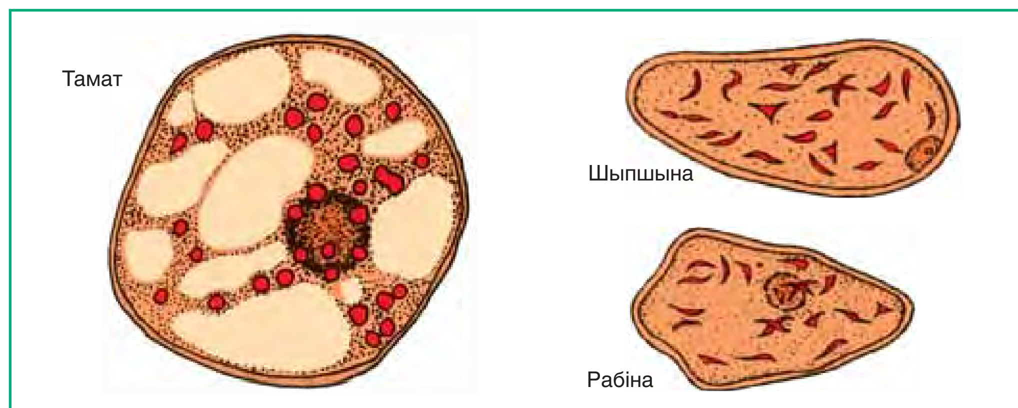
Неабходна адзначыць, што ў адной клетцы могуць змяшчацца пластыды толькі аднаго тыпу.

Мал. 46. Лейкапласты ў клетках эпідэрмісу ліста традэсканцыі



Мал. 47. Крухмальныя зерні

Пластыды розных тыпаў маюць агульнае паходжанне: усе яны развіваюцца з першасных пластыд утваральнай тканкі, якія маюць выгляд дробных (да 1 мкм) пузыркоў. Пластыды аднаго тыпу могуць ператварацца ў пластыды другога. Так, на святле ў першасных пластыдах фарміруецца ўнутраная мембранная сістэма, сінтэзуецца хларафіл, і яны ператвараюцца ў хларапласты. Лейкапласты могуць ператварацца ў хларапласты або храмапласты. Напрыклад, клеткі клубняў бульбы, якія ўтрымліваюць вялікую колькасць лейкапластаў, на святле набываюць зялёную афарбоўку. Пры старэнні лістоў, выспяванні пладоў у хларапластах разбураецца хларафіл і ўнутраная мембранная сістэма, і яны ператвараюцца ў храмапласты. Толькі храмапласты ніколі не ператвараюцца ў пластыды іншых тыпаў, паколькі з'яўляюцца канечным этапам развіцця пластыд.



Мал. 48. Храмапласты ў клетках мякаці спелых пладоў

? **1.** Размяркуйце арганоіды на тры групы: аднамембранныя, двухмембранныя і немембранныя.

Рыбасомы, лізасомы, пластыды, комплекс Гольджы, вакуолі, клетачны цэнтр, мітахондрыі, эндаплазматычная сетка.

2. Якая будова мітахондрый? Якую функцыю яны выконваюць?
3. Якія тыпы пластыд вам вядомы? Чым яны адрозніваюцца? Чаму восенню лісты мяняюць афарбоўку з зялёнай на жоўтую, чырвоную, аранжавую?
4. Ахарактарызуйце будову і функцыі хларапластаў.
5. Клеткі лятальных мышцаў насякомых утрымліваюць па некалькі тысяч мітахондрый. З чым гэта звязана?
6. Параўнайце хларапласты і мітахондрыі. Выявіце рысы іх падабенства і адрознення.
7. Дакажыце на канкрэтных прыкладах справядлівасць сцверджання: «Клетка ўяўляе сабой цэласную сістэму, усе кампаненты якой знаходзяцца ў цеснай узаемасувязі адзін з другім».
8. У чым заключаецца адносная аўтаномнасць мітахондрый і хларапластаў у клетцы? Чым яна абумоўлена?
9. У чым праяўляецца ўзаемасувязь і ўзаемазалежнасць мітахондрый і рыбасом?

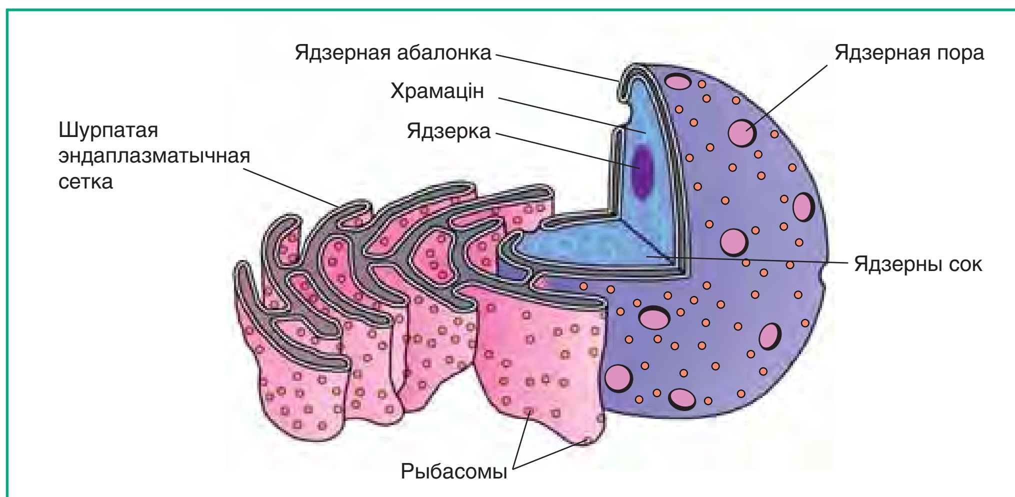
§ 18. Ядро

Ядро — важнейшая структура клетак усіх эўкарыёт. Большасць клетак маюць ядро. Зрэдку сустракаюцца двух'ядзерныя (*інфузорыя туфелька*) і мнагаядзерныя клеткі (некаторыя пратысты, клеткі грыбоў, папярочнапаласатыя мышачныя валокны). Некаторыя клеткі ў спелым стане не маюць ядра, напрыклад эрытрацыты млекакормячых, клеткі сітападобных трубак кветкавых раслін. Такія клеткі не здольныя да размнажэння.

Звычайна ядро мае шарападобную форму, але можа быць лінзападобным, верацёнападобным і нават мнагалопасцевым (у клетках зярністых лейкацытаў). У жывёльнай клетцы ядро звычайна размешчана ў цэнтры, а ў раслiннай, як правіла, знаходзіцца на перыферыі клеткі (цэнтральную частку часта займае вакуоля).

Будова і функцыі ядра. Агульны план будовы ядра аднолькавы для ўсіх клетак эўкарыёт (мал. 49). Яно складаецца з ядзернай абалонкі, ядзернага соку, храмаціну і ядзерка (аднаго або некалькіх).

Ад цытаплазмы змесціва ядра аддзелена **ядзернай абалонкай**, якая складаецца з дзвюх мембран. Звонку мембрана мяжуе з цытаплазмай клеткі, у некаторых месцах яна пераходзіць у каналы эндаплазматычнай сеткі. Да вонкавай мембраны ядра прымацоўваюцца рыбасомы. Унутраная мембрана, якая кантактуе з ядзерным сокам, гладкая. Ядзерная абалонка пранізана мноствам пор, праз якія з ядра ў цытаплазму выходзяць субадзінкі рыбасом, малекулы іРНК і тРНК, а ў ядро з цытаплазмы пранікаюць розныя бялкі (у тым ліку ферменты), нуклеатыды, АТФ, неарганічныя іоны і г. д.



Мал. 49. Схема будовы ядра

Ядзерны сок мае гелепадобную кансістэнцыю, у яго састаў уваходзяць розныя арганічныя і неарганічныя рэчывы. У ядзерным соку размяшчаюцца храмацін і ядзеркі.

Храмацін пад мікраскопам мае выгляд тонкіх цяжаў, дробных гранул або глыбак. Аснову храмаціну складаюць малекулы ДНК, злучаныя са спецыфічнымі бялкамі. У састаў храмаціну ўваходзяць таксама малекулы РНК, сінтэз якіх ажыццяўляецца на ДНК.

Ядзеркі — шчыльныя, акруглыя, не абмежаваныя мембранай участкі ядра. Тут адбываецца сінтэз рыбасомных РНК і аб'яднанне іх з малекуламі бялкоў, што прыводзіць да ўтварэння субадзінак рыбасом. Такім чынам, ядзерка ўяўляе сабой месца сінтэзу рРНК і зборкі асобных субадзінак рыбасом. У пачатку дзялення клеткі ядзеркі разбураюцца, а ў канцы дзялення фарміруюцца зноў у пэўных участках храмасом.

Важнейшымі функцыямі ядра з'яўляюцца наступныя.

1. Захаванне спадчыннай інфармацыі і перадача яе даччыным клеткам у працэсе дзялення. Як вы ведаеце, спадчынная інфармацыя закадзіравана ў малекулах ДНК.

2. Кіраванне працэсамі жыццядзейнасці клеткі.

Храмасомы. У пачатку дзялення клеткі храмацін ушчыльняецца, утвараючы кампактныя структуры — **храмасомы**. Спецыяльныя ядзерныя бялкі пры гэтым забяспечваюць правільную ўкладку (спіралізацыю) малекулы ДНК, у выніку чаго яе даўжыня ў шмат разоў памяншаецца. Кожная храмасома ўтворана дзвюма

Мал. 50. Будова і тыпы храмасом

сястрынскімі храматыдамі (мал. 50). У састаў кожнай храматыды ўваходзіць адна малекула ДНК. Малекулы ДНК у сястрынскіх храматыдах адной храмасомы ідэнтычныя, г. зн. маюць аднолькавую паслядоўнасць нуклеатыдаў.

Сястрынскія храматыды злучаны адна з другой у вобласці цэнтрамеры (першаснай перацяжкі). Цэнтрамера дзеліць храмасому на два плячы. Храмасомы з роўнымі або амаль роўнымі плячамі называюцца раўнаплечымі, з плячамі неаднолькавай даўжыні — нераўнаплечымі. Храмасомы з адным доўгім, а другім вельмі кароткім, ледзь прыкметным плячом называюцца палачкападобнымі.

У жывых арганізмах адрозніваюць **палавыя** і **саматычныя** клеткі. Набор храмасом, які ўтрымліваецца ў палавых клетках (гаметах), называюць **гаплоідным наборам** і абазначаюць літарай n. Напрыклад, сперматазоіды і яйцаклеткі чалавека змяшчаюць па 23 храмасомы ($n = 23$). У гаплоідным наборы кожная храмасома ўнікальная: немагчыма знайсці дзве храмасомы, аднолькавыя па будове (форме, памерах, размяшчэнні перацяжак) і ўтрыманні спадчыннай інфармацыі.

Саматычныя (ад грэч. *сома* — цела) клеткі складаюць цела жывых арганізмаў, утвараючы тканкі і органы, і выконваюць разнастайныя функцыі. У адрозненне ад гамет саматычныя клеткі не прымаюць непасрэднага ўдзелу ў палавым размнажэнні і, як правіла, утрымліваюць **дыплоідны (двайны) набор храмасом**, які абазначаецца $2n$.

У дыплоідным наборы ўсе храмасомы парныя. У прыватнасці, саматычныя клеткі чалавека ўтрымліваюць 46 храмасом, г. зн. 23 пары ($2n = 46$). Парныя храмасомы аднолькавыя па будове і падобныя па ўтрыманні спадчыннай інфарма-

цыі, але маюць рознае паходжанне (адна з іх — мацярынская, другая — бацькаўская). Такія храмасомы называюць г а м а л а г і ч н ы м і (гл. мал. 100 на с. 188).

Клеткі з наборам храмасом, павялічаным у тры і больш разоў (кратна гаплоіднаму набору), называюць **паліплоіднымі**. Напрыклад, $3n$ — трыплоідны набор, $4n$ — тэтраплоідны і г. д.

Паняцце аб карыятыпе. Арганізмы, якія належаць да аднаго віду, маюць аднолькавы набор храмасом у саматычных клетках (пры гэтым улічваецца колькасць храмасом, іх памеры, форма, асаблівасці будовы). І наадварот, у клетках розных біялагічных відаў храмасомныя наборы розныя. Нават калі супадае колькасць храмасом (напрыклад, у *бульбы* і *шымпанзэ* $2n = 48$), іх памеры, форма і будова будуць рознымі.

Сукупнасць прымет храмасомнага набору, характэрных для клетак пэўнага віду жывых арганізмаў, называецца **карыятыпам** (ад грэч. *карыён* — ядро, *тыпас* — узор). Карыятып — гэта свайго роду «храмасомны пашпарт», па якім клеткі аднаго віду арганізмаў надзейна адрозніваюцца ад клетак другіх біялагічных відаў.

Паміж колькасцю храмасом і складанасцю арганізацыі жывых арганізмаў няма прамой сувязі. Напрыклад, клеткі розных відаў *радыялярый* (марскіх пратыстаў) змяшчаюць 1000—1600 храмасом, клеткі *курыцы* — 78, а *шымпанзэ* — усяго 48. Дыплоідны набор *елкі* (голанасенная расліна) складае 24 храмасомы, а *бярозы* (пакрытанасенная расліна) — 18.

? **1.** Для клетак якіх жывых арганізмаў характэрна наяўнасць ядра?

Бактэрый, пратыстаў, грыбоў, раслін, жывёл.

2. З якіх кампанентаў складаецца ядро? Якія функцыі яно выконвае? Якім чынам адсутнасць ядра можа паўплываць на жыццядзейнасць клеткі?

3. Што ўяўляюць сабой ядзеркі? Чаму ядзеркі ў ядры клеткі перыядычна з'яўляюцца і знікаюць?

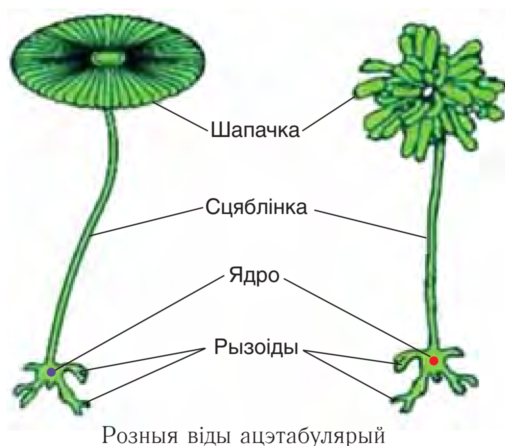
4. Што ўяўляе сабой храмацін? Што адбываецца з храмацінам у пачатку дзялення клеткі?

5. Чым гаплоідны набор храмасом адрозніваецца ад дыплоіднага? Для якіх тыпаў клетак характэрны дадзеныя храмасомныя наборы?

6. Што такое карыятып? Чаму існаванне відаў звязана са стабільнасцю іх карыятыпу?

7. У цыкле развіцця раслін адбываецца строгае чаргаванне двух пакаленняў — спарафіту і гаметафіту. Спарафіты развіваюцца з зігот, гаметафіты — з гаплоідных спор. Прыгадайце цыклы развіцця імху, папараці, голанасенных і пакрытанасенных раслін, вывучаных у 7-м класе. Як на працягу эвалюцыі раслін змяняліся памеры, будова і роля кожнага пакалення ў цыкле развіцця? Як вы думаеце, чым абумоўлена выяўленая заканамернасць?

8. У цёплых морах жывуць незвычайныя зялёныя водарасці — ацэтабулярыі. Вядома некалькі відаў ацэтабулярый, якія адрозніваюцца формай шапачкі і некаторымі



Розныя віды ацэтабулярый

іншымі прыметамі. Цела ацэтабулярыі ўяўляе сабой адну гіганцкую клетку, якая складаецца з ножкі з рызоідамі, тонкай сцяблінкі і шапачкі. Сцяблінка дасягае ў даўжыню 6 см, а шапачка — 1 см у дыяметры. Ацэтабулярыі жывуць на мелкаводдзі і часта пашкоджваюцца прыбоем. Аднак яны валодаюць магчымасцю рэгенераваць усе часткі свайго цела, акрамя ядра, якое знаходзіцца ў прымацаванай да камянёў ножцы.

Якія эксперыменты з гэтымі водарасцямі можна правесці, каб даказаць, што менавіта ядро клеткі з'яўляецца асноўным захавальнікам спадчыннай інфармацыі?

§ 19. Асаблівасці будовы клетак пракарыёт

Вам вядома, што па асаблівасцях будовы клетак арганізмы прынята дзяліць на дзве групы: пракарыёты (даядзерныя) і эўкарыёты (ядзерныя). Да першай групы адносяцца *бактэрыі*, да другой — *пратысты, грыбы, расліны* і *жывёлы*. Якія адметныя рысы пракарыятычных клетак у параўнанні з эўкарыятычнымі?

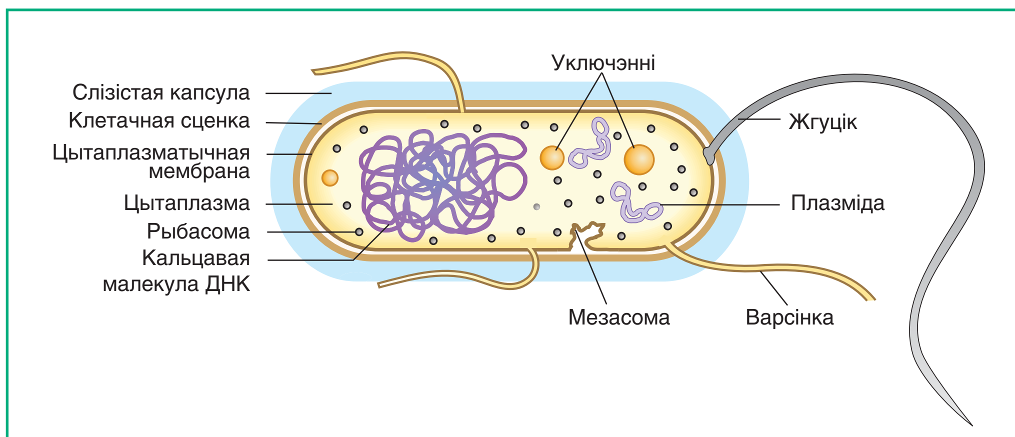
Памеры клетак пракарыёт, як правіла, значна меншыя, чым эўкарыёт, і ў сярэднім складаюць 0,25—10 мкм. Аднак ёсць выключэнні. Клеткі некаторых *ніткаватых серабактэрый* маюць дыяметр каля 50 мкм, выяўлены *спірахеты* даўжынёй да 250 мкм, а буйнейшыя з вядомых бактэрый дасягаюць у памеры 750 мкм (0,75 мм).

Клеткі пракарыёт могуць мець розную форму: шарападобную (кокі), палачкападобную (бацылы), сагнутую (вібрыёны), спіральна закручаную (спірылы) і інш.

Паверхневы апарат пракарыятычных клетак уключае цытаплазматычную мембрану і клетачную сценку. У некаторых бактэрый паверхневы апарат мае дадатковую вонкавую мембрану. Клетачная сценка многіх бактэрый можа быць пакрыта слізістай капсулай (мал. 51).

Будова і функцыі цытаплазматычнай мембраны падобныя да такіх жа ў эўкарыёт.

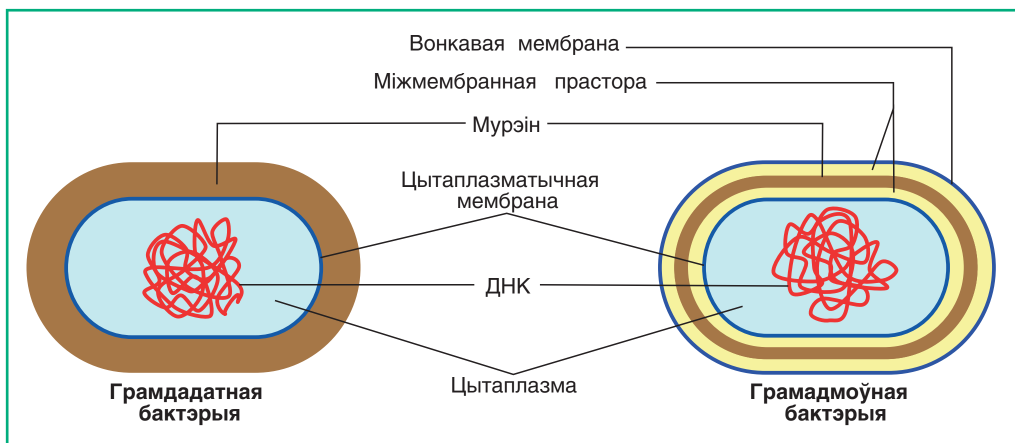
Клетачная сценка бактэрый істотна адрозніваецца па будове ад абалонак клетак раслін і грыбоў. Яе аснову складае цвёрдая рашотка з поліцукрыду мурэіну.



Мал. 51. Схема будовы пракарыятычнай клеткі

Малекула мурэіну ўяўляе сабой правільную сетку з паралельна размешчаных поліцукрыдных ланцугоў, сшытых адзін з другім кароткімі пептыднымі ланцужкамі. Такім чынам, бактэрыяльная клетка акружана мурэінавым мяшком, утвораным, па сутнасці, адной малекулай. У састаў клетачнай сценкі можа ўваходзіць мноства такіх мурэінавых мяшкоў, якія размяшчаюцца адзін паверх другога і ўтвараюць жорсткі апорны каркас, які забяспечвае пастаянную форму бактэрыяльнай клеткі.

Па будове клетачнай сценкі бактэрыі падраздзяляюцца на дзве групы — грамдадатныя і грамадмоўныя (мал. 52). У грамдадатных бактэрый клетачная сценка тоўстая, мнагаслойная, у грамадмоўных яна танчэйшая, але звонку ад яе размешчана дадатковая мембрана, якая



Мал. 52. Паверхневы апарат клетак грамдадатных і грамадмоўных бактэрый

перашкаджае пранікненню ў клетку розных рэчываў. Гэта робіць грамадмоўныя бактэрыі больш устойлівымі да ўздзеяння некаторых ядаў, ферментаў, антыбіётыкаў.

Для выяўлення бактэрый пад мікраскопам іх апрацоўваюць спецыяльнымі фарбавальнікамі па метадзе, распрацаваным дацкім вучоным Х. Грамам (адсюль і назва груп бактэрый). Пры гэтым грамдадатныя бактэрыі набываюць цёмна-сінюю афарбоўку, а грамадмоўныя — ружовую.

У некаторых бактэрый ёсць **варсінкі** — тонкія бялковыя вырасты на паверхні клеткі (гл. мал. 51). Функцыя варсінак заключаецца ў прымацаванні бактэрый да клетак іншых арганізмаў, розных часцінак, а таксама ў пераносе ДНК ад адной бактэрыяльнай клеткі да другой.

Клеткі некаторых відаў бактэрый маюць **жгуцікі** (адзін, некалькі або шмат), якія могуць быць у некалькі разоў даўжэйшыя за саму клетку.

Пракарыёты, як вынікае з іх назвы, не маюць аформленага ядра. Іх спадчынная інфармацыя ўтрымліваецца, як правіла, у кальцавой малекуле ДНК (гл. мал. 51), якая размяшчаецца непасрэдна ў цытаплазме і ўмоўна называецца **бактэрыяльнай храмасомай**. Акрамя бактэрыяльнай храмасомы, у цытаплазме клетак могуць змяшчацца невялікія малекулы ДНК, здольныя аўтаномна падвойвацца і пры дзяленні перадавацца даччыным клеткам. Такія пазахрамасомныя (дадатковыя па адносінах да храмасомы) структуры называюцца **плазмідамі**.

Бактэрыяльныя клеткі не маюць мембранных арганоідаў, характэрных для клетак эўкарыёт, — мітахондрый, пластыд, эндаплазматычнай сеткі, комплексу Гольджы, лізасом. Функцыю гэтых арганоідаў выконвае цытаплазматычная мембрана або яе вытворныя. Цытаплазматычная мембрана пракарыёт можа ўтвараць уціскання ўнутр клеткі — **мезасомы**, якія часта маюць выгляд закручаных у спіраль або клубок утварэнняў (гл. мал. 51). Лічыцца, што мезасомы могуць прымаць удзел ва ўтварэнні папярочных перагародак пры дзяленні клетак, а таксама служыць месцам прымацавання бактэрыяльных храмасом.

Акрамя таго, у пракарыятычных клетках адсутнічае клетачны цэнтр і цыташкілет. У той жа час у цытаплазме размяшчаюцца шматлікія **рыбасомы**, якія маюць будову, падобную да рыбасом эўкарыёт, але адрозніваюцца меншымі памерамі.

У некаторых бактэрый, якія жывуць у вадаёмах або капілярах глебы, ёсць асобыя газавыя вакуолі. Змяняючы іх аб'ём, бактэрыі могуць перамяшчацца (усплываць і пагружацца) з мінімальнымі затратамі энергіі.

У клетках цыянабактэрый утрымліваюцца акруглыя замкнутыя мембранныя структуры — **храматафоры** (ад грэч. *храма* — фарба, *форас* — які нясе), у якіх размешчаны фотасінтэтычныя пігменты.

Пераважная большасць эўкарыёт з'яўляюцца аэробамі — так называюць арганізмы, якія выкарыстоўваюць для клетачнага дыхання кісларод. У адрозненне

ад іх сярод пракарыёт вядома нямала анаэробаў — арганізмаў, якія здольны існаваць без доступу кіслароду. Акрамя таго вядома, што на клеткі некаторых анаэробаў кісларод дзейнічае і зусім згубна.

Некаторыя бактэрыі здольны засвойваць атмасферны азот (N_2), што эўкарыёты рабіць не могуць. Такія бактэрыі называюцца азотфіксуючымі.

У неспрыяльных умовах (холад, гарачыня, засуха і г. д.) некаторыя бактэрыі здольны ўтвараць **споры**. Пры спораўтварэнні вакол бактэрыяльнай храмасомы ўтвараецца шчыльная мнагаслойная абалонка. Споры ўстойлівыя да дзеяння нізкіх і высокіх тэмператур (у некаторых выпадках вытрымліваюць доўгае кіпячэнне), іанізуючага выпраменьвання, многіх хімічных рэчываў і іншых фактараў. Споры могуць дзесяцігоддзямі знаходзіцца ў неактыўным стане, а ў спрыяльных умовах зноў ператварацца ў актыўных бактэрый.

Большасць пракарыёт — аднаклетачныя арганізмы, але сустракаюцца каланіяльныя і мнагаклетачныя формы (напрыклад, некаторыя *цыянабактэрыі*). Вялікая колькасць пракарыёт могуць мець выгляд ніцей, шароў, гронак, часам яны акружаны агульнай слізістай капсулай.

?

1. Якія з пералічаных структур ёсць у бактэрыяльнай клетцы?

Цытаплазматычная мембрана, ядро, цытаплазма, разнастайныя мембранныя арганоіды, немембранныя арганоіды.

2. Якія асаблівасці будовы паверхневага апарату клетак бактэрый?

3. Што ўяўляе сабой бактэрыяльная храмасома? Плазміды? Што такое мезасомы?

4. Якія арганізмы называюцца аэробамі? Анаэробамі?

5. У клетках пракарыёт адсутнічаюць такія арганізмы, як мітахондрыі, пластыды, комплекс Гольджы, эндаплазматычная сетка. Якім чынам іх клеткі могуць функцыянаваць без гэтых арганоідаў? Чаму пракарыёты не могуць «абысціся» без рыбасом?

6. Параўнайце па розных прыметах пракарыятычную і эўкарыятычную клеткі, выявіце рысы падабенства і адрознення.

7. Параўнайце будову двухмембранных арганоідаў (мітахондрый, хларапластаў) і бактэрыяльных клетак. Якія рысы падабенства выяўляюцца? Падумайце, чым яны могуць тлумачыцца.

§ 20. Асаблівасці будовы клетак эўкарыёт

Падабенства ў будове клетак эўкарыёт. На Зямлі існуе мноства відаў эўкарыятычных арганізмаў, аб'яднаных у чатыры царствы: Расліны, Жывёлы, Грыбы і Пратысты. Нягледзячы на значныя адрозненні ў будове і спосабе жыцця прадстаўнікоў розных царстваў (і нават аднаго царства), для ўсіх эўкарыёт

характэрны шэраг агульных прымет, якія датычацца будовы і функцыянавання іх клетак:

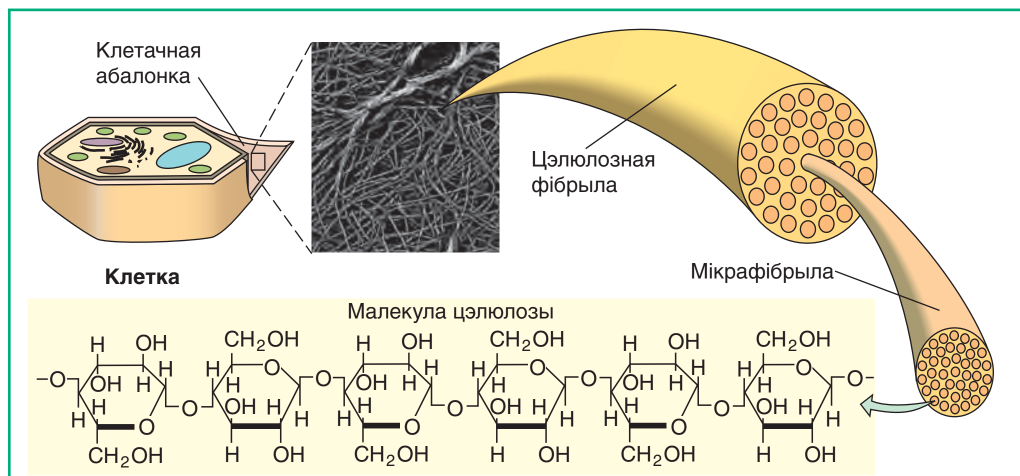
- адзіны план будовы клеткі;
- наяўнасць ядра, цытаплазмы з разнастайнымі мембраннымі і немембраннымі арганоідамі, цыташкілета;
- падабенства працякання працэсаў абмену рэчываў і энергіі ў клетцы;
- падобныя працэсы дзялення клетак.

Адрозненні ў будове клетак эўкарыёт. Параўноўваючы будову клетак арганізмаў розных царстваў, акрамя падабенства, можна выдзеліць істотныя адрозненні (гл. мал. 29).

Клеткі **раслін** маюць цвёрдую клетачную сценку (абалонку). Абалонка надае клеткам механічную трываласць, падтрымлівае іх форму і памеры, захоўвае ад пашкоджанняў і высыхання, а таксама не дапускае разрыву клетак пры паступленні ў іх вялікай колькасці вады.

Аснову абалонкі складае цвёрды каркас з паралельна размешчаных валокнаў, пагружаны ў мяккі, пластычны матрыкс. Валакністым кампанентам клетачных абалонак раслін з'яўляецца ц э л ю л о з а, лінейныя ланцужкі якой аб'ядноўваюцца ў пучкі і валокны (фібрылы) дзякуючы ўзнікненню міжмалекулярных вадародных сувязей (мал. 53). Фібрылы паралельнымі радамі размяшчаюцца ў матрыксе. У састаў матрыкса ўваходзяць розныя поліцукрыды.

У абалонцы маладых клетак утрыманне валакністых элементаў невысокае (не больш за 30 % сухой масы). Такая абалонка называецца п е р ш а с н а й. Абалонкі маладых клетак здольны да расцяжэння, дзякуючы чаму магчымы рост клеткі. Пасля спынення росту на першасную абалонку



Мал. 53. Схема будовы цэлюлозных фібрыл клетачнай абалонкі раслін

знутры адкладваюцца новыя слаі — так фарміруецца трывалая другасная абалонка. Змесціва валакністых рэчываў у ёй значна большае.

Другасныя абалонкі клетак раслін здольны напаўняцца лігнінам і адраўняваць, што надае ім асаблівую трываласць. У абалонках некаторых раслінных клетак адкладваецца другое рэчыва — суберын. Гэты працэс называецца акаркаваннем. Суберынізаваныя абалонкі становяцца непранікальнымі для вады, таму змесціва клетак адмірае, і яны напаўняюцца паветрам. На паверхні клетачных абалонак могуць адкладвацца куцін і воскі. Гэтыя рэчывы таксама надаюць клеткам воданепранікальнасць. Таму яблыкі, якія закладваюць на захаванне, нельга мыць і выціраць, каб не пашкодзіць васковы слой.

Расліны — аўтатрофныя арганізмы. Клеткі лістоў і маладых сцёблаў раслін ўтрымліваюць хларапласты, у якіх адбываецца фотасінтэз. У мембранах хларапластаў знаходзяцца святлопаглынальныя пігменты — хларафілы і каратыноіды. У клетках раслін могуць прысутнічаць і іншыя пластыды — храмапласты і лейкапласты.

Для раслінных клетак характэрны буйныя вакуолі, якія з'яўляюцца рэзервуарам для вады і сховішчам разнастайных рэчываў. У клетках большасці раслін адсутнічаюць цэнтрыёлі. Запасным вугляводам раслін з'яўляецца крухмал, які адкладваецца ў выглядзе крухмальных зерняў.

Клеткі жывёл **пакрыты** толькі цытаплазматычнай мембранай. Надмембранны комплекс прадстаўлены глікакаліксам. Жывёлы — гетэратрофы, крыніцай вугляроду для сінтэзу арганічных рэчываў у іх з'яўляюцца рэчывы, якія паступаюць з кормам. Пажыўныя рэчывы служаць для жывёл таксама крыніцай энергіі. У клетках жывёл адсутнічаюць пластыды, няма буйных вакуоляў, але ёсць цэнтрыёлі. Запасным вугляводам з'яўляецца глікаген, які адкладваецца ў цытаплазме клетак.

У клетках **грыбоў**, як і ў раслін, ёсць цвёрдая клетачная сценка. У большасці грыбоў яе аснову складаюць фібрылы хіціну. Хіцін не ператраўліваецца большасцю арганізмаў з-за адсутнасці ферменту хіціназы, таму абалонка (клетачная сценка) надзейна ахоўвае ўнутранае змесціва клетак грыбоў ад пашкоджання іншымі арганізмамі. Цела грыба (грыбніца) уяўляе сабой сукупнасць тонкіх трубчастых ніцей — гіфаў, утвораных адным радам клетак. У некаторых грыбоў перагародкі ў гіфах адсутнічаюць, і грыбніца ўяўляе сабой адну гіганцкую мнагаядзерную клетку. У клетках грыбоў ёсць вялікія вакуолі, запоўненыя клетачным сокам.

Грыбы, як і жывёлы, — гетэратрофы, жывяцца гатовымі арганічнымі рэчывамі, пластыд у іх клетках няма. Запасным вугляводам у клетках грыбоў (як і жывёл) з'яўляецца глікаген.

Пратысты — неаднародная група арганізмаў. Сярод іх ёсць аднаклетачныя, каланіяльныя і мнагаклетачныя формы. Некаторыя аднаклетачныя і каланіяльныя пратысты здольны перамяшчацца з дапамогай раснічак (*інфузорыі*), жгу-

цікаў (*хламідаманада*, *эўглена зялёная*, *вальвокс*) або лжэножак (*амёбы*). Паводле тыпу жыўлення пратысты могуць быць аўтатрофнымі, аўтагетэратрофнымі і гетэратрофнымі.

Аўтатрофныя і аўтагетэратрофныя пратысты называюцца **водарасцямі**. У іх клетках змяшчаюцца хларапласты (ад аднаго да некалькіх дзясяткаў), якія ажыццяўляюць на святле працэс фотасінтэзу. Хларапласты водарасцей могуць мець разнастайную форму: чашападобную (у *хларэлы*), спіральную (у *спірагіры*) і г. д. Многія водарасці маюць клетачную сценку. У клетках аўтатрофных пратыстаў ўтрымліваюцца вакуолі з клетачным сокам. Некаторыя аднаклетачныя водарасці маюць святлоадчувальнае вочка і скарачальныя вакуолі.

У адрозненне ад аўтатрофных аўтагетэратрофныя пратысты (*эўглена зялёная, хламідаманада*) могуць не толькі ажыццяўляць фотасінтэз, але і паглынаць усёй паверхняй цела раствораныя ў вадзе арганічныя рэчывы.

Гетэратрофныя пратысты (*амёбы, інфузорыі* і інш.) не здольны да фотасінтэзу, таму спажываюць гатовыя арганічныя рэчывы і ператраўліваюць іх у стрававальных вакуолях. У клетках гетэратрофных пратыстаў адсутнічаюць пластыды і святлоадчувальнае вочка. Не маюць яны і клетачнай сценкі.

1. Як называюцца жывыя арганізмы, клеткі якіх змяшчаюць аформленае ядро? Аўтатрофы, гетэратрофы, пракарыёты, эўкарыёты.

2. У чым праяўляецца падабенства клетак пратыстаў, грыбоў, раслін і жывёл?

3. Чым раслінная клетка адрозніваецца ад жывёльнай?

4. Якія агульныя рысы і якія адрозненні можна выдзеліць, калі параўнаць клеткі розных груп пратыстаў?

5. Параўнайце клеткі грыбоў, раслін і жывёл па розных крытэрыях. Вызначыце рысы падабенства і адрознення паміж імі.

6. Паводле ўтрымання бялкоў грыбы практычна не ўступаюць мясу. Чаму ж лічыцца, што харчовая вартасць грыбоў нашмат ніжэйшая, чым мяса?

7. Вучоныя мяркуюць, што першыя (самыя старажытныя) жывыя арганізмы на Зямлі ўяўлялі сабой спадчынны матэрыял (ДНК, РНК), які быў акружаны вязкім растворам бялкоў і абмежаваны ад знешняга асяроддзя мембранай. Прапануйце гіпотэзы, якім чынам у працэсе эвалюцыі магло ўзнікнуць ядро і розныя арганоіды, характэрныя для сучасных эўкарыятычных клетак.

§ 21. Клетачны цыкл

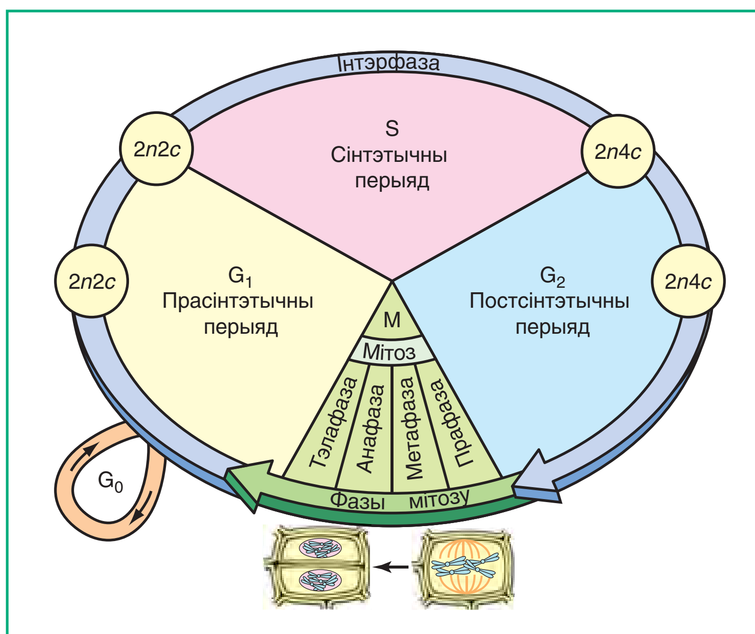
Біялагічнае значэнне дзялення клетак. Новыя клеткі ўзнікаюць у выніку дзялення ўжо існуючых. Калі дзеліцца аднаклетачны арганізм, то з яго ўтвараюцца два новыя. Мнагаклетачны арганізм таксама пачынае сваё развіццё часцей за ўсё толькі з адной клеткі. Шляхам многаразовых дзяленняў утвараецца вялікая колькасць клетак, якія і складаюць арганізм. Дзяленне клетак забяспечвае размнажэнне і развіццё арганізмаў, а значыць, бесперапыннасць жыцця на Зямлі.

Клетачны цыкл — жыццё клеткі з моманту яе ўтварэння ў працэсе дзялення мацярынскай клеткі да ўласнага дзялення (уключаючы гэта дзяленне) або гібелі.

На працягу гэтага цыкла кожная клетка расце і развіваецца такім чынам, каб паспяхова выконваць свае функцыі ў арганізме. Далей клетка функцыянуе на працягу пэўнага часу, па заканчэнні якога або дзеліцца, утвараючы даччыныя клеткі, або гіне.

У розных відаў арганізмаў клетачны цыкл займае розны час: напрыклад, у *бактэрый* ён доўжыцца каля 20 мін, у *інфузорыі туфелькі* — ад 10 да 20 г. Клеткі мнагаклетачных арганізмаў на ранніх стадыях развіцця дзеляцца часта, а затым клетачныя цыклы значна падаўжаюцца. Напрыклад, адразу пасля нараджэння чалавека клеткі галаўнога мозга дзеляцца вялікую колькасць разоў: 80 % нейронаў галаўнога мозга фарміруецца менавіта ў гэты перыяд. Аднак большасць гэтых клетак хутка губляе здольнасць да дзялення, а частка дажывае да натуральнай смерці арганізма, увогуле не дзелячыся.

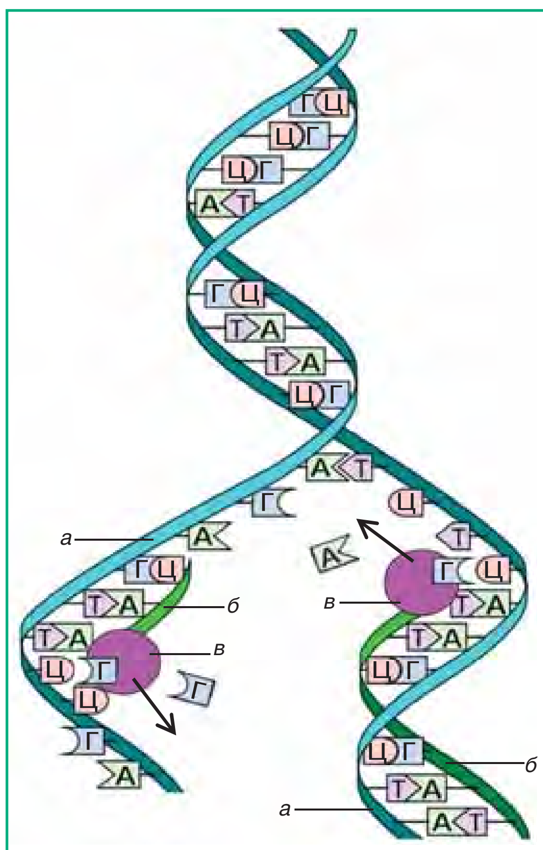
Клетачны цыкл складаецца з інтэрфазы і мітозу (мал. 54).



Мал. 54. Перыяды клетачнага цыкла ($2n$ — дыплоідны набор храмасом, $2c$, $4c$ — колькасць сястрынскіх храматыд у наборы)

Інтэрфаза — прамежак клетачнага цыкла паміж двума дзяленнямі. На працягу ўсёй інтэрфазы храмасомы неспіралізаваны, яны знаходзяцца ў ядры клеткі ў выглядзе храмаціну. Як правіла, інтэрфаза складаецца з трох перыядаў: прасінтэтычнага, сінтэтычнага і постсінтэтычнага.

Прасінтэтычны перыяд (G_1) — найбольш працяглая частка інтэрфазы. Ён можа працягвацца ў розных тыпаў клетак ад 2—3 г да некалькіх сутак. Падчас гэтага перыяду клетка расце, у ёй павялічваецца колькасць арганоідаў, назапашваецца энергія і рэчывы для наступнага падваення ДНК. На працягу G_1-перыяду кожная храмасома складаецца з адной храматыды, г. зн. колькасць храмасом (n) і храматыд (c) супадае. Набор храмасом і храматыд (малекул ДНК) дыплоіднай клеткі ў G_1-перыядзе клетачнага цыкла можна выразіць запісам $2n2c$.



Мал. 55. Схема рэплікацыі малекулы ДНК: *а* — мацярынскія ланцугі; *б* — дачыныя ланцугі, *в* — ДНК-полімераза

У **сінтэтычным перыядзе (S)** адбываецца падваенне ДНК, а таксама сінтэз бялкоў, неабходных для наступнага фарміравання храмасом. У гэты ж перыяд адбываецца падваенне цэнтрыёляў.

Падваенне ДНК называюць **рэплікацыяй**. У працэсе рэплікацыі спецыяльныя ферменты раз'ядноўваюць два ланцугі зыходнай мацярынскай малекулы ДНК, разрываючы вадародныя сувязі паміж камплементарнымі нуклеатыдамі. З ланцугамі, якія разышліся, звязваюцца малекулы Д Н К - п о л і м е р а з ы — галоўнага ферменту рэплікацыі. Затым малекулы ДНК-полімеразы пачынаюць рухацца ўздоўж мацярынскіх ланцугоў, выкарыстоўваючы іх у якасці матрыц, і сінтэзаваць новыя дачыныя ланцугі, падбіраючы для іх нуклеатыды паводле прынцыпу камплементарнасці (мал. 55). Напрыклад, калі ўчастак мацярынскага ланцуга ДНК мае паслядоўнасць нуклеа-

тыдаў АЦГТГА, то ўчастак даччынага ланцуга будзе мець выгляд ТГЦАЦТ. У сувязі з гэтым рэплікацыю адносяць да **рэакцый матрычнага сінтэзу**. У выніку рэплікацыі ўтвараюцца дзве ідэнтычныя двухланцужковыя малекулы ДНК. У склад кожнай з іх уваходзіць адзін ланцужок зыходнай мацярынскай малекулы і адзін зноў сінтэзаваны даччыны ланцужок.

К канцу S-перыяду кожная храмасома складаецца ўжо з дзвюх ідэнтычных сястрынскіх храматыд, злучаных паміж сабой у вобласці цэнтрамеры. Колькасць храматыд у кожнай пары гамалагічных храмасом становіцца роўнай чатыром. Такім чынам, набор храмасом і храматыд дыплоіднай клеткі ў канцы S-перыяду (г. зн. пасля рэплікацыі) выражаецца запісам $2n4c$.

Постсінтэтычны перыяд (G_2) наступае пасля падваення ДНК. У гэты час клетка назапашвае энергію і сінтэзуе бялкі для будучага дзялення (напрыклад, бялок тубулін для пабудовы мікратрубачак, якія потым утвараюць верацяно дзялення). На працягу ўсяго G_2-перыяду набор храмасом і храматыд у клетцы застаецца нязменным — $2n4c$.

Інтэрфаза завяршаецца, і пачынаецца **дзяленне**, у выніку якога ўтвараюцца даччыныя клеткі. У працэсе мітозу (асноўнага спосабу дзялення клетак эўкарыёт) сястрынскія храматыды кожнай храмасомы аддзяляюцца адна ад другой і трапляюць у розныя даччыныя клеткі. Такім чынам, маладыя даччыныя клеткі, якія ўступаюць у новы клетачны цыкл, маюць набор $2n2c$.

Такім чынам, клетачны цыкл ахоплівае прамежак часу ад узнікнення клеткі да яе поўнага раздзялення на дзве даччыныя і ўключае інтэрфазу (G_1-, S-, G_2-перыяды) і мітоз (гл. мал. 54). Такая паслядоўнасць перыядаў клетачнага цыкла характэрна для клетак, якія пастаянна дзеляцца, напрыклад для клетак расткоўага слоя эпідэрмісу скуры, чырвонага касцявога мозгу, слізістай абалонкі страўнікава-кішачнага тракту жывёл, клетак утваральнай тканкі раслін. Яны здольны дзяліцца кожныя 12—36 г.

У процілегласць гэтаму большасць клетак мнагаклетачнага арганізма становяцца на шлях спецыялізацыі і пасля праходжання часткі G_1- перыяду могуць пераходзіць у так званы **перыяд спакою (G_0-перыяд)**. Клеткі, якія знаходзяцца ў G_0-перыядзе, выконваюць свае спецыфічныя функцыі ў арганізме, у іх працякаюць працэсы абмену рэчываў і энергіі, але не адбываецца падрыхтоўка да рэплікацыі. Такія клеткі, як правіла, назаўсёды страчваюць здольнасць да дзялення. Прыкладамі могуць служыць нейроны, клеткі хрусталіка вока і многія іншыя.

Аднак некаторыя клеткі, якія знаходзяцца ў G_0-перыядзе (напрыклад, лейкацыты, клеткі печані), могуць выходзіць з яго і працягваць клетачны цыкл, прайшоўшы ўсе перыяды інтэрфазы і мітоз. Так, клеткі печані могуць зноў набываць здольнасць да дзялення праз некалькі месяцаў прабывання ў перыядзе спакою.

Клетачная гібель. Гібель (смерць) асобных клетак або іх груп пастаянна сустракаецца ў мнагаклетачных арганізмаў, гэтаксама як і гібель аднаклетачных арганізмаў. Гібель клетак можна раздзяліць на дзве катэгорыі: н е к р о з (ад грэч. *некрас* — мёртвы) і а п а п т о з, якія часта называюць праграмуемай клетачнай смерцю або нават клетачным самагубствам.

Некроз — адміранне клетак і тканак у жывым арганізме, выкліканае дзеяннем пашкоджваючых фактараў. Прычынамі некрозу можа быць уздзеянне высокіх і нізкіх тэмператур, іанізуючых выпраменьванняў, розных хімічных рэчываў (у тым ліку таксінаў, выдзяляемых хваробатворнымі мікраарганізмамі). Некратычная гібель клетак назіраецца таксама ў выніку іх механічнага пашкоджання, парушэння кровазабеспячэння і інервацыі тканак, пры алергічных рэакцыях.

У пашкоджаных клетках парушаецца пранікальнасць мембран, спыняюцца сінтэз бялкоў і іншыя працэсы абмену рэчываў, адбываецца разбурэнне ядра, арганоідаў і, нарэшце, усёй клеткі. Асаблівасцю некрозу з'яўляецца тое, што такой гібелі падвяргаюцца цэлыя групы клетак (напрыклад, пры інфаркце міякарда з-за спынення забеспячэння кіслародам адмірае ўчастак сардэчнай мышцы, які ўтрымлівае мноства клетак). Звычайна адміраючыя клеткі падвяргаюцца атацы лейкацытаў, і ў зоне некрозу развіваецца запаленчая рэакцыя.

Апаптоз — запраграмаваная гібель клетак, якая рэгулюецца арганізмам. У ходзе развіцця і функцыянавання арганізма частка яго клетак гіне без непасрэднага пашкоджання. Гэты працэс працякае на ўсіх стадыях жыцця арганізма, нават у эмбрыянальны перыяд.

У дарослым арганізме таксама пастаянна адбываецца запланаваная гібель клетак. Мільёнамі гінуць клеткі крыві, эпідэрмісу скуры, слізістай абалонкі страўнікава-кішачнага тракту і інш. Пасля авуляцыі гіне частка фалікулярных клетак яечніка, пасля лактацыі — клеткі малочных залоз. У арганізме дарослага чалавека штогод у выніку апаптозу гіне 50—70 мільярдаў клетак. Пры апаптозе клетка распадаецца на асобныя фрагменты, акружаныя плазмалемай. Звычайна фрагменты загінуўшых клетак паглынаюцца лейкацытамі або суседнімі клеткамі без запуску запаленчай рэакцыі. Папаўненне страчаных клетак забяспечваецца шляхам дзялення.

Такім чынам, апаптоз як бы перарывае бясконцасць клетачных дзяленняў. Ад свайго «нараджэння» да апаптозу клетка праходзіць пэўную колькасць нармальных клетачных цыклаў. Пасля кожнага з іх клетка пераходзіць або да новага клетачнага цыкла, або да апаптозу.

?

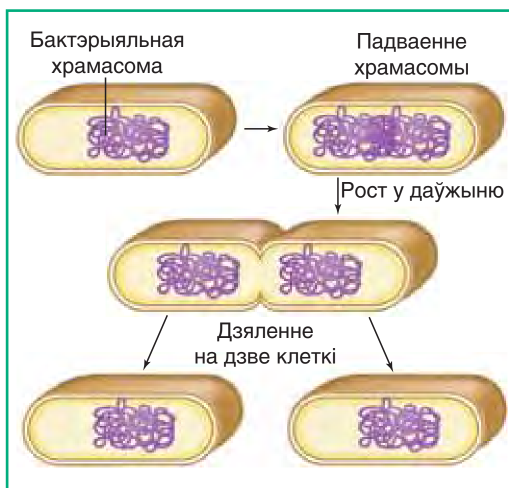
1. Што такое клетачны цыкл?

2. Што называецца інтэрфазай? Якія асноўныя падзеі адбываюцца ў G_1-, S- і G_2-перыядах інтэрфазы?

3. Для якіх клетак характэрны G_0-перыяд? Што адбываецца ў гэты перыяд?
4. Якім чынам ажыццяўляецца рэплікацыя ДНК?
5. Ці аднолькавыя малекулы ДНК, якія ўваходзяць у састаў гамалагічных храмасом? У састаў сястрынскіх храматыд? Чаму?
6. Што ўяўляе сабой некроз? Апаптоз? У чым заключаецца падабенства і адрозненні некрозу і апаптозу?
7. Якое значэнне запраграмаванай гібелі клетак у жыцці мнагаклетачных арганізмаў?
8. Як вы думаеце, чаму ў пераважнай большасці жывых арганізмаў асноўным захавальнікам спадчыннай інфармацыі з'яўляецца ДНК, а РНК выконвае толькі дапаможныя функцыі?

§ 22. Простае бінарнае дзяленне. Мітоз. Амітоз

Простае бінарнае дзяленне характэрна толькі для клетак пракарыёт. Бактэрыяльныя клеткі змяшчаюць адну храмасому — кальцавую малекулу ДНК. Перад дзяленнем клеткі адбываецца рэплікацыя і ўтвараюцца дзве аднолькавыя малекулы ДНК, кожная з якіх прымацавана да цытаплазматычнай мембраны (мал. 56).

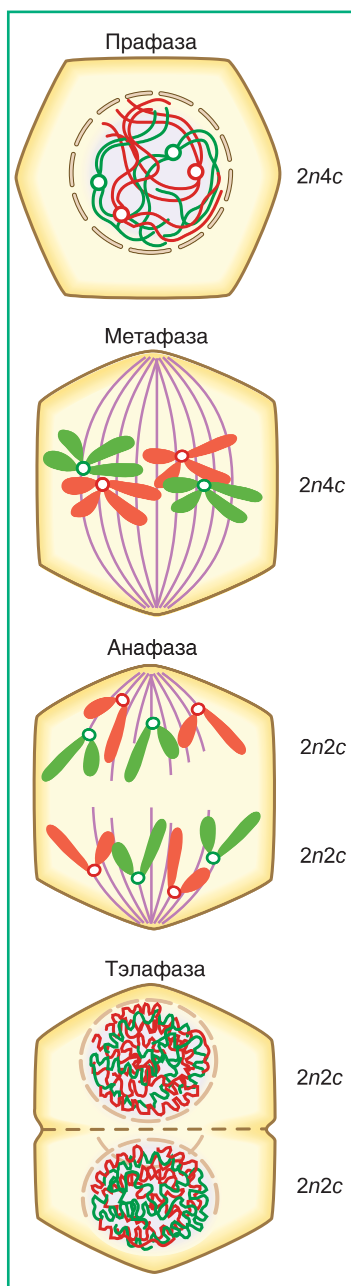


Мал. 56. Простае бінарнае дзяленне

Пры дзяленні клеткі цытаплазматычная мембрана ўрастае паміж дзвюма малекуламі ДНК такім чынам, што ў выніку дзеліць клетку папалам. У кожнай утворанай клетцы з'яўляецца па адной ідэнтычнай малекуле ДНК. Такі працэс атрымаў назву **простага бінарнага дзялення**.

Для эўкарыятычных клетак характэрны іншыя спосабы дзялення: мітоз, амітоз, меёз.

Мітоз (ад грэч. *мітас* — ніць) — асноўны спосаб дзялення эўкарыятычных клетак, у выніку якога **з адной мацярынскай клеткі ўтвараюцца дзве дачыныя з такім жа наборам храмасом**. У мітоз могуць уступаць клеткі з рознымі наборамі храмасом — дыплоідныя, гаплоідныя, паліплоідныя. Працягласць мітозу ў жывых клетках у сярэднім складае 30—60 мін, а ў раслінных — 2—3 г.



Мал. 57. Фазы мітозу

Мітоз — працэс бесперапынны, але для зручнасці яго падраздзяляюць на чатыры паслядоўныя фазы: прафазу, метафазу, анафазу і тэлафазу (мал. 57).

Прафаза. У клетцы павялічваецца аб'ём ядра, пачынае спіралізавацца храмацін, у выніку чаго фарміруюцца храмасомы. Кожная храмасома складаецца з дзвюх сястрынскіх храматыд, злучаных у вобласці цэнтрамеры (у дыплоіднай клетцы — набор $2n4c$). Паступова раствараюцца ядзеркі, распадаецца ядзерная абалонка. Часткова спіралізаваныя храмасомы аказваюцца ў гіялаплазме і размяшчаюцца ў ёй беспарадкава (хаатычна).

Цэнтрыёлі папарна разыходзяцца да полюсаў клеткі, дзе ініцыююць утварэнне мікратрубачак, з якіх пачынае фарміравацца верацяно дзялення. Частка ніцей верацяна дзялення ідзе ад полюса да полюса, іншыя ніці прымацоўваюцца да цэнтрамераў храмасом і спрыяюць іх перамяшчэнню ў экватарыяльную плоскасць клеткі. У клетках большасці раслін цэнтрыёлі адсутнічаюць. У гэтым выпадку цэнтрамі ўтварэння мікратрубачак верацяна дзялення з'яўляюцца асобыя структуры, якія складаюцца з дробных вакуоляў.

Метафаза. Завяршаецца фарміраванне верацяна дзялення. Храмасомы дасягаюць максімальнай спіралізацыі і размяшчаюцца ўпарадкавана ў экватарыяльнай плоскасці клеткі. Утвараецца так званая метафазная пласцінка, якая складаецца з двуххраматыдных храмасом. У гэтую фазу і можна лёгка падлічыць колькасць храмасом, вывучыць асаблівасці іх будовы.

Анафаза. Ніці верацяна дзялення пакарочваюцца, у выніку чаго сястрынскія храматыды кожнай храмасомы аддзяляюцца адна ад другой і разыходзяцца да процілеглых полюсаў клеткі. Паколькі сястрынскія храматыды ідэнтычныя адна другой, два полюсы клеткі атрымліваюць аднолькавы генетычны матэрыял (у дыплоіднай клетцы — $2n2c$ каля

кожнага полюса). Цяпер храматыды, якія разышліся, называюцца даччынымі храмасомамі.

Тэлафаза. Даччыныя храмасомы дэспіралізуюцца (раскручваюцца) каля полюсаў клеткі з утварэннем храмаціну. Вакол ядзернага матэрыялу кожнага полюса з мембранных структур цытаплазмы фарміруюцца ядзерныя абалонкі. У двух утвораных ядрах узнікаюць ядзеркі. Ніці верацяна дзялення разбураюцца.

На гэтым дзяленне ядра заканчваецца, і пачынаецца раздзяленне клеткі папалам. У клетак жывёл у экватарыяльнай плоскасці ўзнікае кальцавая перацяжка. Яна паглыбляецца да той пары, пакуль не адбудзецца раздзяленне дзвюх даччыных клетак. Ва ўтварэнні перацяжкі важную ролю адыгрываюць структуры цыташкілета.

Клеткі раслін не могуць дзяліцца перацяжкай, паколькі маюць цвёрдую клетачную сценку. У экватарыяльнай плоскасці раслiннай клеткі са змесціва пузыркоў комплексу Гольджы ўтвараецца так званая пасярэдняя пласцінка, якая і раздзяляе дзве даччыныя клеткі.

З моманту раздзялення даччыных клетак кожная з іх уступае ў інтэрфазу новага клетачнага цыкла.

Біялагічнае значэнне мітозу заключаецца ў тым, што ён забяспечвае перадачу спадчынных прымет і ўласцівасцей у шэрагу пакаленняў клетак, што неабходна для нармальнага развіцця мнагаклетачнага арганізма. Дзякуючы дакладнаму і раўнамернаму размеркаванню храмасом пры мітозе ўсе клеткі арганізма генетычна ідэнтычныя.

Мітоз абумоўлівае важнейшыя працэсы жыццядзейнасці — рост, развіццё, рэгенерацыю (аднаўленне пашкоджаных тканак і органаў). Мітатычнае дзяленне клетак ляжыць у аснове бясполага размнажэння многіх арганізмаў.

Амітоз ажыццяўляецца шляхам прамога дзялення клетачнага ядра перацяжкай. Пры амітозе не ўтвараецца верацяно дзялення і не адбываецца спіралізацыя храмаціну, таму спадчынны матэрыял размяркоўваецца паміж даччынымі ядрамі нераўнамерна, выпадковым чынам. Такі тып дзялення сустракаецца ў аднаклетачных арганізмаў. Напрыклад, амітозам дзеліцца вялікае паліплоіднае ядро *інфузорый*. Амітозам дзеляцца таксама некаторыя клеткі мнагаклетачных арганізмаў: высокаспецыялізаваныя з аслабленай фізіялагічнай актыўнасцю, старэючыя, асуджаныя на гібель. Акрамя таго, амітоз назіраецца пры розных паталагічных працэсах, такіх як рост злаякасных пухлін, запаленне і інш. Для такіх клетак становіцца немагчымым зварот у нармальны клетачны цыкл, падрыхтоўка да дзялення і мітоз.

Амітоз можна назіраць у тканках клубня бульбы, які расце, эндасперме насення, сценках завязі песціка і парэнхіме чаранкоў лістоў. У жывёл і чалавека такі тып дзялення характэрны для клетак печані, храсткоў, рагавіцы вока.

Пры амітозе часта назіраецца толькі дзяленне ядра без далейшага раздзялення клеткі на дзве даччыныя. У гэтым выпадку ўзнікаюць двух’ядзерныя і нават мнагаядзерныя клеткі. Калі ж даччыныя клеткі ўсё ж утвараюцца, то клетачныя кампаненты, як і ДНК, размяркоўваюцца паміж імі выпадкова і нераўнамерна.

? **1.** Якія спосабы дзялення характэрны для клетак эўкарыёт? Для протакарыятычных клетак?

Мітоз, амітоз, простае бінарнае дзяленне, меёз.

2. Што ўяўляе сабой простае бінарнае дзяленне?
3. Што такое мітоз? Ахарактарызуйце фазы мітозу.
4. Дзякуючы чаму даччыныя клеткі ў выніку мітозу атрымліваюць ідэнтычную спадчынную інфармацыю? У чым заключаецца біялагічнае значэнне мітозу?
5. Колькасць храмасом — n, храматыд — c. Якой будзе суадносіна n і c для саматычных клетак чалавека ў наступных перыядах інтэрфазы і мітозу? Устанавіце адпаведнасць.

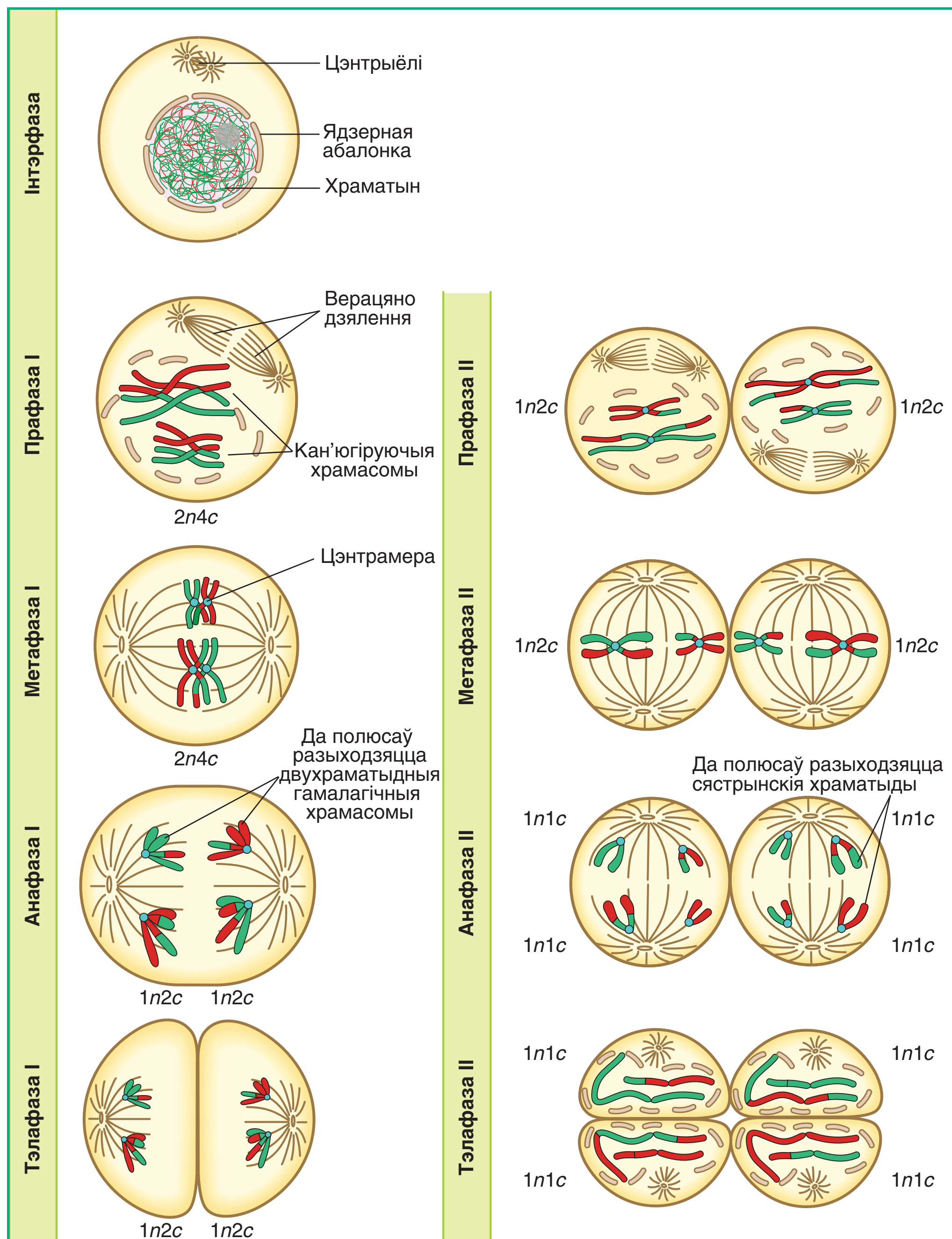
1) G_1-перыяд	а) $n = 23$, $c = 23$
2) G_2-перыяд	б) $n = 23$, $c = 46$
3) Прафаза	в) $n = 46$, $c = 46$
4) Метафаза	г) $n = 46$, $c = 92$
5) Каля кожнага полюса клеткі ў канцы анафазы	
6) У кожнай даччынай клетцы ў канцы тэлафазы	

6. Чым амітоз адрозніваецца ад мітозу? Як вы думаеце, чаму амітоз называюць прамым дзяленнем клеткі, а мітоз — непрамым?
7. У ядры клеткі, якая не дзеліцца, спадчынны матэрыял (ДНК) знаходзіцца ў выглядзе аморфнага разгрупаванага рэчыва — храмаціну. Перад дзяленнем храмацін спіралізуецца і ўтварае кампактныя структуры — храмасомы, а пасля дзялення вяртаецца ў зыходнае становішча. Для чаго клеткі праводзяць такія складаныя відазмяненні свайго спадчыннага матэрыялу?
8. Выяўлена, што ў дзённых жывёл максімальная мітатычная актыўнасць клетак назіраецца вечарам, а мінімальная — днём. У жывёл, якія вядуць начны спосаб жыцця, клеткі найбольш інтэнсіўна дзеляцца раніцай, ноччу ж мітатычная актыўнасць аслаблена. Як вы думаеце, з чым гэта звязана?

§ 23. Меёз і яго біялагічнае значэнне

Меёз (ад грэч. *меёзіс* — памяншэнне) — гэта спосаб дзялення эўкарыятычных клетак, у выніку якога **з адной мацярынскай клеткі ўтвараюцца чатыры даччыныя з паменшаным у 2 разы наборам храмасом**. Калі ў меёз уступае дыплоідная саматычная клетка ($2n4c$), то ўтвараюцца чатыры гаплоідныя клеткі ($1n1c$). Клеткі з гаплоідным наборам храмасом не могуць дзяліцца меёзам.

Меёз уяўляе сабой бесперапынны працэс, які складаецца з двух паслядоўных дзяленняў, называемых меёзам I і меёзам II. У кожным дзяленні адрозніваюць прафазу, метафазу, анафазу і тэлафазу (мал. 58). У выніку першага дзялення меёзу


Інтэрфаза
Цэнтрыёлі
Ядзерная абалонка
Храматын
Прафаза I
Верацяно дзялення
Кан'югіруючыя храмасомы
2n4c
Метафаза I
Цэнтрамера
2n4c
Анафаза I
Да полюсаў разыходзяцца двухрхраматыдныя гамалагічныя храмасомы
1n2c
1n2c
Тэлафаза I
1n2c
1n2c
Прафаза II
1n2c
1n2c
Метафаза II
1n2c
1n2c
Анафаза II
Да полюсаў разыходзяцца сястрынскія храматыды
1n1c
1n1c
1n1c
1n1c
Тэлафаза II
1n1c
1n1c
1n1c
1n1c

Мал. 58. Меёз

лік храмасом памяншаецца ўдвая, у выніку другога дзялення меёзу гаплоіднасць клетак захоўваецца.

У **прафазе меёзу I** (або **прафазе I**) раствараюцца ядзеркі, распадаецца ядзерная абалонка і пачынаецца фарміраванне верацяна дзялення. Храмацін спіралізуецца з утварэннем двуххраматыдных храмасом (у дыплоіднай клетцы — набор $2n4c$). Гамалагічныя храмасомы папарна зблiжаюцца, гэты працэс называецца кан'югацыяй храмасом. Пры кан'югацыі храматыды гамалагічных храмасом у шэрагу месцаў перакрыжоўваюцца. Паміж некаторымі храматыдамі гамалагічных храмасом можа адбывацца абмен адпаведнымі ўчасткамі — красінговер.

У **метафазе I** пары гамалагічных храмасом размяшчаюцца ў экватарыяльнай плоскасці клеткі. У гэты момант спіралізацыя храмасом дасягае максімуму.

У **анафазе I** гамалагічныя храмасомы (а не сястрынскія храматыды, як пры мітозе) адыходзяць адна ад другой і расцягваюцца ніцямі верацяна дзялення да процілеглых полюсаў клеткі. Значыць, з кожнай пары гамалагічных храмасом у дачыную клетку трапляе толькі адна. Такім чынам, у канцы анафазы I набор храмасом і храматыд каля кожнага полюса клеткі, што дзеліцца, складае $1n2c$ — ён ужо памяншаецца ўдвая, але храмасомы ўсё яшчэ застаюцца двуххраматыднымі.

У **тэлафазе I** верацяно дзялення разбураецца, адбываецца фарміраванне двух ядзер і дзяленне цытаплазмы. Утвараюцца дзве дачыныя клеткі, якія ўтрымліваюць гаплоідны набор храмасом, кожная храмасома складаецца з дзвюх храматыд ($1n2c$).

Прамежак паміж меёзам I і меёзам II вельмі кароткі. Інтэрфаза II практычна адсутнічае. У гэты час не адбываецца рэплікацыя ДНК і дзве дачыныя клеткі хутка ўступаюць у другое дзяленне меёзу, якое працякае па тыпе мітозу.

У **прафазе II** адбываюцца тыя ж працэсы, што і ў прафазе мітозу: фарміруюцца храмасомы, яны хаатычна размяшчаюцца ў цытаплазме клеткі. Пачынае фарміравацца верацяно дзялення.

У **метафазе II** храмасомы размяшчаюцца ў экватарыяльнай плоскасці.

У **анафазе II** сястрынскія храматыды кожнай храмасомы раздзяляюцца і адыходзяць да супрацьлеглых полюсаў клеткі. У канцы анафазы II набор храмасом і храматыд каля кожнага полюса — $1n1c$.

У **тэлафазе II** утвараюцца чатыры гаплоідныя клеткі, кожная храмасома складаецца з адной храматыды ($1n1c$).

Такім чынам, меёз уяўляе сабой два паслядоўныя дзяленні ядра і цытаплазмы, перад якімі рэплікацыя адбываецца толькі адзін раз. Энергія і рэчывы, неабходныя для абодвух дзяленняў меёзу, назапашваюцца падчас інтэрфазы I.

У прафазе меёзу I адбываецца красінговер, што вядзе да перакамбінацыі спадчыннага матэрыялу. У анафазе I гамалагічныя храмасомы выпадковым чынам разыходзяцца да розных полюсаў клеткі, у анафазе II тое самае адбываецца

з сястрынскімі храматыдамі. Усе гэтыя працэсы абумоўліваюць камбінатыўную зменлівасць жывых арганізмаў, пра якую будзе сказана пазней.

Біялагічнае значэнне меёзу. У жывёл і чалавека меёз прыводзіць да ўтварэння гаплоідных палавых клетак — гамет. У ходзе наступнага працэсу апладнення (зліцця гамет) арганізм новага пакалення атрымлівае дыплоідны набор храмасом, а значыць, захоўвае ўласцівы дадзенаму віду арганізмаў карыятып. Такім чынам, меёз перашкаджае павелічэнню колькасці храмасом пры палавым размнажэнні. Без такога механізму дзялення храмасомныя наборы падвойваліся б з кожным наступным пакаленнем.

У *раслін, грыбоў* і некаторых *пратыстаў* шляхам меёзу ўтвараюцца споры. Працэсы, якія адбываюцца ў ходзе меёзу, служаць асновай камбінатыўнай зменлівасці арганізмаў.

?

1. Колькі даччыных клетак і з якім наборам храмасом утвараецца з адной дыплоіднай клеткі ў выніку: а) мітозу; б) меёзу?

Дзве гаплоідныя, дзве дыплоідныя, чатыры гаплоідныя, чатыры дыплоідныя.

2. Што ўяўляе сабой кан'югацыя храмасом? У якую фазу меёзу адбываецца красінговер? Якое значэнне мае гэты працэс?

3. Якія падзеі, што адбываюцца ў меёзе, забяспечваюць двайное памяншэнне набору храмасом у даччыных клетках?

4. Якое біялагічнае значэнне меёзу?

5. Параўнайце мітоз і меёз, выявіце рысы падабенства і адрознення. У чым заключаецца галоўнае адрозненне меёзу ад мітозу?

6. Клетка кораня бярозы змяшчае 18 храмасом.

1) Дыплоідная клетка пыльніку бярозы зведала меёз. Утвораныя пры гэтым мікраспоры падзяліліся мітозам. Колькі клетак утварылася? Колькі храмасом утрымліваецца ў кожнай з іх?

2) Вызначыце лік храмасом і агульную колькасць храматыд у клетках бярозы падчас меятычнага дзялення: а) у экватарыяльнай плоскасці клеткі ў метафазе I; б) у метафазе II; в) каля кожнага полюса клеткі ў канцы анафазы I; г) каля кожнага полюса клеткі ў канцы анафазы II.

7. Чаму меёз не назіраецца ў арганізмаў, якім не ўласціва палавое размнажэнне?

8. Для чаго патрэбна другое дзяленне меёзу, калі памяншэнне ліку храмасом у 2 разы ўжо адбылося ў выніку першага дзялення?

Глава 3 Абмен рэчываў і пераўтварэнне энергіі ў арганізме

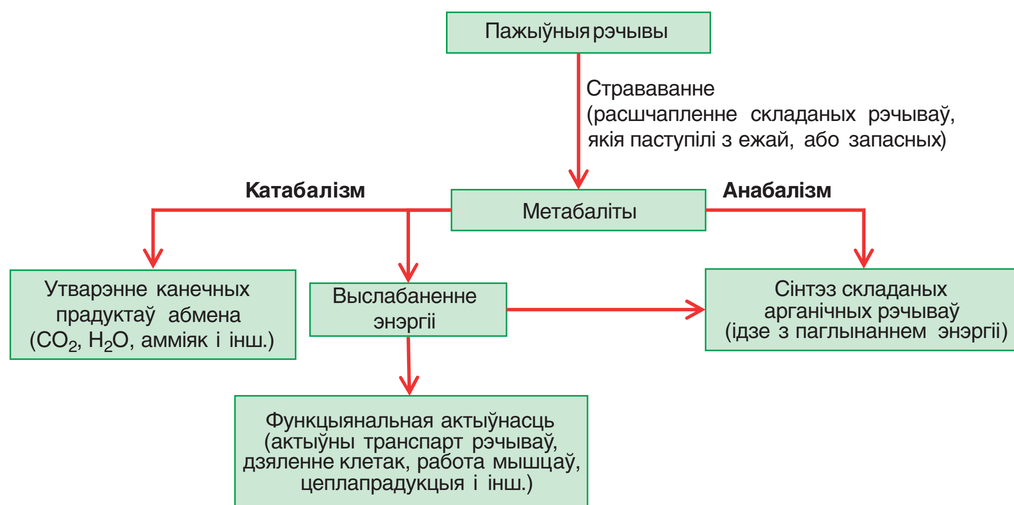
§ 24. Агульная характарыстыка абмену рэчываў і пераўтварэнне энергіі

Паняцце абмену рэчываў. Існаванне жывых арганізмаў забяспечваецца бесперапынным паглынаннем пэўных рэчываў з навакольнага асяроддзя. Гетэратрофным арганізмам (*жывёлам, грыбам,* многім *пратыстам* і *бактэрыям*) патрабуецца паступленне гатовых арганічных злучэнняў, а таксама вады і мінеральных рэчываў. Аўтатрофныя арганізмы (*расліны, водарасці,* некаторыя *бактэрыі*) таксама знаходзяцца ў пастаянным абмене рэчывамі з навакольным асяроддзем, але пры гэтым паглынаюць з яго толькі неарганічныя рэчывы.

Рэчывы, якія трапляюць у арганізм, падвяргаюцца ператварэнням у выніку розных біяхімічных рэакцый. Некаторыя рэчывы выкарыстоўваюцца клеткамі арганізма ў якасці будаўнічага матэрыялу, іншыя расшчапляюцца і служаць крыніцай энергіі. Канчатковыя прадукты расшчаплення выводзяцца з арганізма ў навакольнае асяроддзе. Сукупнасць працэсаў хімічнага ператварэння рэчываў у арганізме называецца **абменам рэчываў** або **метабалізмам** (ад грэч. *метабале* — перамена, ператварэнне). Працэсы абмену рэчываў забяспечваюць рост, развіццё, жыццядзейнасць, размнажэнне арганізмаў, а таксама іх узаемадзеянне з навакольным асяроддзем.

Абмен рэчываў суправаджаецца пераўтварэннем энергіі. Напрыклад, пры расшчапленні пажыўных рэчываў вызваляецца энергія, заключаная ў іх хімічных сувязях. Частка гэтай энергіі рассейваецца ў выглядзе цяпла (г. зн. пераўтвараецца ў цеплавую), другая частка назапашваецца ў выглядзе малекул АТФ. Фотасінтэзуючыя арганізмы паглынаюць светлавую энергію і пераўтвараюць яе ў энергію хімічных сувязей арганічных рэчываў.

Асіміляцыя і дысіміляцыя. У жывым арганізме адначасова адбываюцца працэсы двух тыпаў: сінтэзу і расшчаплення рэчываў (мал. 59). Сукупнасць рэакцый сінтэзу складаных арганічных рэчываў з больш простых злучэнняў называецца **асіміляцыяй** (ад лац. *асіміляцыо* — засваенне), **анабалізмам** (ад грэч. *анабале* — уздым) або **пластычным абменам**. Рэакцыі пластычнага абмену ідуць з затратамі (паглынаннем) энергіі. У ходзе асіміляцыі з разнастайных хімічных злучэнняў, якія трапляюць у арганізм, сінтэзуюцца рэчывы, спецыфічныя для дадзенага арганізма. Утвораныя рэчывы выкарыстоўваюцца для росту клетак і аднаўлення клетачных структур, ідуць на будову новых клетак і тканак. Некаторая частка прадуктаў пластычнага абмену адкладваецца ў клетках у якасці



Мал. 59. Схема ўзаемасувязі абмену рэчываў і пeратварэння энергіі ў арганізме

запасных рэчываў. Працэсамі пластычнага абмену з’яўляюцца: фотасінтэз, біясінтэз ДНК (рэплікацыя), біясінтэз РНК, бялкоў, ліпідаў, поліцукрыдаў і г. д.

Працэсы расшчаплення складаных арганічных рэчываў да больш простых злучэнняў суправаджаюцца выдзяленнем (вызваленнем) энергіі іх хімічных сувязей. Як ужо адзначалася, адна частка гэтай энергіі рассейваецца ў выглядзе цяпла, а другая акумулюецца ў выглядзе макраэргічных сувязей АТФ. Такія працэсы называюцца **дысіміляцыяй** (ад лац. *дыс* — прыстаўка, якая азначае «парушэнне»; *асіміляцыо* — засваенне), **катабалізмам** (ад грэч. *катабале* — разбурэнне) *або* **энергетычным абменам**. Канчатковымі прадуктамі працэсаў дысіміляцыі з’яўляюцца вуглякіслы газ, вада, аміяк. Да энергетычнага абмену адносяцца браджэнне і клетачнае дыханне.

Малекулы АТФ, сінтэзаваныя ў ходзе рэакцый энергетычнага абмену, служаць пастаўшчыкамі энергіі для працэсаў сінтэзу арганічных рэчываў, актыўнага транспарту рэчываў праз плазмалему, дзялення клетак, перадачы нервовых імпульсаў. Дзякуючы энергіі АТФ падтрымліваецца пастаянная тэмпература цела ў птушак і млекакормячых, ажыццяўляюцца ўсе віды руху (у тым ліку мышачнага) і г. д.

Працэсы пластычнага і энергетычнага абмену цесна звязаны паміж сабой. Многія рэчывы, утвораныя ў выніку энергетычнага абмену, могуць выкарыстоўвацца ў пластычным абмене — для сінтэзу больш складаных арганічных рэчываў. І наадварот, прадукты асіміляцыі могуць падвяргацца расшчапленню і служыць

крыніцай энергіі ў працэсах дысіміляцыі. АТФ, якая ўтвараецца ў працэсе энергетычнага абмену, расшчапляецца да АДФ і H_3PO_4 і служыць крыніцай энергіі для рэакцый пластычнага абмену.

Такім чынам, **асіміляцыя і дысіміляцыя — два ўзаемазвязаныя бакі адзінага працэсу абмену рэчываў і пераўтварэння энергіі ў жывых арганізмах.**

Працэсы асіміляцыі не заўсёды ўраўнаважаны працэсамі дысіміляцыі. Так, у маладых арганізмах пераважаюць працэсы асіміляцыі. Дзякуючы гэтаму забяспечваецца назапашванне рэчываў, інтэнсіўны рост і развіццё арганізма. У старым арганізме, як правіла, пераважаюць працэсы дысіміляцыі. Тое ж самае назіраецца пры высокіх фізічных нагрузках і недахопе пажыўных рэчываў. Калі не кампенсаваць энергетычныя затраты ўзмоцненым харчаваннем, адбудзецца паступовае аслабленне арганізма, якое ў рэшце рэшт можа прывесці да яго гібелі.

Інтэнсіўнасць працэсаў энергетычнага і пластычнага абмену рэгулюецца нервовай сістэмай і гармонамі. Напрыклад, адрэналін зрушвае баланс у бок энергетычнага абмену, а інсулін і самататрапін (гармон росту) — у бок пластычнага абмену.

? **1.** Якія паняцці прапушчаны ў біялагічных «ураўненнях» і заменены пытальнымі знакамі?

Абмен рэчываў = ? + энргетычны абмен
Анабалізм + ? = метабалізм
Асіміляцыя + дысіміляцыя = ?

2. Якія працэсы называюць асіміляцыяй і дысіміляцыяй? Прывядзіце прыклады.

3. Чым аўтатрофныя арганізмы прынцыпова адрозніваюцца ад гетэратрофных?

4. Для ажыццяўлення якіх працэсаў арганізмы выкарыстоўваюць энергію АТФ?

5. У якіх выпадках працэсы энергетычнага абмену ў арганізме пераважаюць над працэсамі пластычнага абмену і наадварот?

6. Прывядзіце прыклады пераўтварэння энергіі ў жывым арганізме.

7. Дакажыце справядлівасць сцверджання: «Асіміляцыя і дысіміляцыя — два бакі адзінага працэсу абмену рэчываў і пераўтварэння энергіі ў жывых арганізмах».

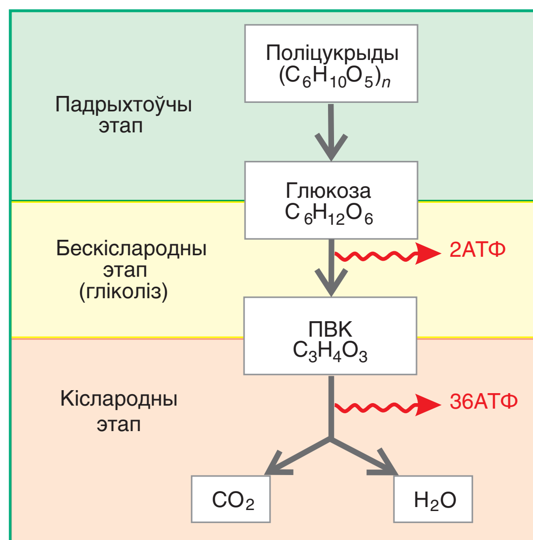
8. Сутачная норма вугляводаў для дарослага чалавека складае 5—8 г на 1 кг масы цела (у залежнасці ад энергетычных затрат арганізма). Пры акісленні 5 г вугляводаў выдзяляецца 88 кДж энергіі, што дастаткова для награвання 1 кг цела чалавека ад тэмпературы 36,6 °C да тэмпературы 62 °C. Паспрабуйце самастойна правесці гэты нескладаны разлік на аснове ведаў, атрыманых пры вывучэнні фізікі ў 8-м класе. Улічвайце, што сярэдняя ўдзельная цеплаёмістасць чалавечага цела 3,47 кДж/(кг · °C). Да чаго магло б прывесці разаграванне клетак цела чалавека да такой тэмпературы? Чаму гэта на самай справе не адбываецца?

§ 25. Клетачнае дыханне

Клеткам жывых арганізмаў пастаянна патрабуецца энергія для ажыццяўлення розных працэсаў жыццядзейнасці. Універсальным пастаўшчыком гэтай энергіі служыць АТФ, якая ўтвараецца ў рэакцыях энергетычнага абмену. У большасці арганізмаў АТФ сінтэзуецца галоўным чынам у працэсе клетачнага дыхання. **Клетачнае дыханне** — складаны працэс, у ходзе якога адбываецца расшчапленне арганічных рэчываў (у канчатковым выніку — да прасцейшых неарганічных злучэнняў), а вызваленая энергія іх хімічных сувязей назапашваецца і затым выкарыстоўваецца клеткай (мал. 60).

Большасць жывых арганізмаў (усе *расліны*, большасць *жывёл, грыбоў* і *пратыстаў*, многія *бактэрыі*) выкарыстоўваюць у працэсе клетачнага дыхання кісларод. Такія арганізмы называюцца аэробамі (ад грэч. *аэр* — паветра, *біяс* — жыццё), а іх тып дыхання — аэробным дыханнем. Разгледзім, як адбываецца працэс клетачнага дыхання ў аэробных умовах (г. зн. ва ўмовах свабоднага доступу кіслароду).

Этапы клетачнага дыхання. **Падрыхтоўчы этап** заключаецца ў расшчапленні буйных арганічных малекул да больш простых злучэнняў. Гэтыя працэсы адбываюцца ў стрававальнай сістэме (у жывёл) і цытаплазме клетак без выкарыстання кіслароду. Пад уздзеяннем стрававальных ферментаў поліцукрыды расшчапляюцца да монацукрыдаў, тлушчы — да гліцэрыну і вышэйшых карбонавых кіслот, бялкі — да амінакіслот, нуклеінавыя кіслоты — да нуклеатыдаў. Пры гэтым выдзяляецца мала энергіі, яна не назапашваецца ў выглядзе АТФ, а рассейваецца ў выглядзе цяпла. Больш таго, для працякання рэакцый расшчаплення патрабуюцца пэўныя затраты энергіі.



Мал. 60. Схема этапаў клетачнага дыхання

Рэчывы, утвораныя ў выніку падрыхтоўчага этапу, могуць выкарыстоўвацца клеткай як у рэакцыях пластычнага абмену, так і для далейшага расшчаплення з мэтай атрымання энергіі.

Другі этап энергетычнага абмену называецца **бескіслародным** або **анаэробным**. Ён заключаецца ў фер-

ментатыўным расшчапленні арганічных рэчываў, атрыманых у ходзе падрыхтоўчага этапу. Кісларод у рэакцыях гэтага этапу не ўдзельнічае, больш таго, анаэробны этап можа працякаць ва ўмовах поўнай адсутнасці кіслароду. Асноўнай крыніцай энергіі ў клетцы з'яўляецца глюкоза, таму другі этап мы разгледзім менавіта на прыкладзе бескіслароднага расшчаплення глюкозы — гліколізу.

Гліколіз — шматступенчаты працэс бескіслароднага расшчаплення глюкозы ($C_6H_{12}O_6$) да піравінаграднай кіслаты ($C_3H_4O_3$). Рэакцыі гліколізу каталізуюцца спецыяльнымі ферментамі і працякаюць у цытаплазме клетак.

У ходзе гліколізу кожная малекула глюкозы расшчапляецца да дзвюх малекул піравінаграднай кіслаты (ПВК). Пры гэтым вызваляецца энергія, частка якой рассейваецца ў выглядзе цяпла, а тая, што засталася, выкарыстоўваецца для сінтэзу **2 малекул АТФ**. Прамежкавыя прадукты гліколізу падвяргаюцца акісленню — ад іх адшчапляюцца атамы вадароду, якія выкарыстоўваюцца для аднаўлення $НАД^+$.

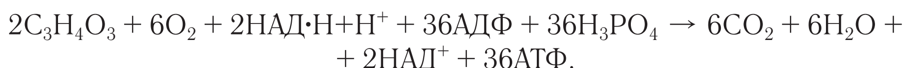
НАД — нікацінамідадэніндынуклеатыд (поўная назва прыводзіцца не для запамінання) — рэчыва, якое выконвае ў клетцы функцыю пераносчыка атамаў вадароду. НАД, які далучыў два атамы вадароду, называецца аднаўленым (запісваецца як $НАД{\cdot}Н+Н^+$). Аднаўлены НАД можа аддаваць атамы вадароду другім рэчывам і пераходзіць у акісленую форму ($НАД^+$).

Такім чынам, працэс гліколізу можна выразіць наступным сумарным ураўненнем (для спрашчэння ва ўсіх ураўненнях рэакцый энергетычнага абмену не ўказаны малекулы вады, якія ўтвараюцца пры сінтэзе АТФ):

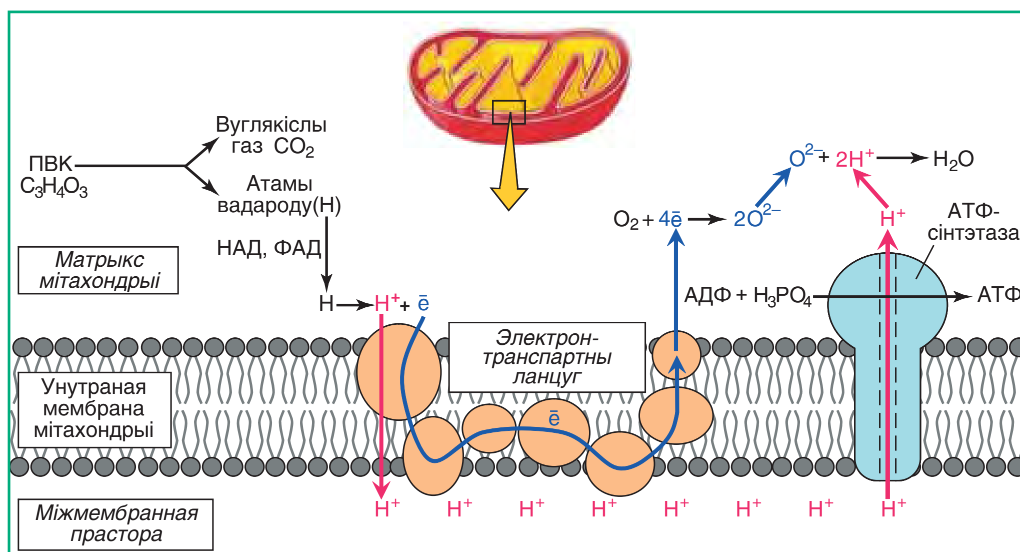
$$C_6H_{12}O_6 + 2НАД^+ + 2АДФ + 2H_3PO_4 \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 2НАД{\cdot}Н{+}Н^+ + 2АТФ.$$

У выніку гліколізу вызваляецца толькі каля 5 % энергіі, заключанай у хімічных сувязях малекул глюкозы. Значная частка энергіі ўтрымліваецца ў прадукце гліколізу — ПВК. Таму пры аэробным дыханні пасля гліколізу наступае завяршальны этап — **кіслародны,** або **аэробны**.

Піравінаградная кіслата, утвораная ў выніку гліколізу, паступае ў матрыкс мітахондрый, дзе цалкам расшчапляецца і акісляецца да канечных прадуктаў — CO_2 і H_2O. Аднаўлены НАД, які ўтварыўся пры гліколізе, таксама паступае ў мітахондрыі, дзе падвяргаецца акісленню. У ходзе аэробнага этапу дыхання спажываецца кісларод і сінтэзуецца **36 малекул АТФ** (у разліку на 2 малекулы ПВК). CO_2 выдзяляецца з мітахондрый у гіялаплазму клеткі, а затым у навакольнае асяроддзе. Такім чынам сумарнае ўраўненне кіслароднага этапу дыхання можна адлюстраваць так:



$$2C_3H_4O_3 + 6O_2 + 2НАД{\cdot}Н{+}Н^+ + 36АДФ + 36H_3PO_4 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 2НАД^+ + 36АТФ.$$



Мал. 61. Схема кіслароднага этапу клетачнага дыхання

У матрыксе мітахондрый ПВК падвяргаецца складанаму ферментатыўнаму расшчапленню, прадуктамі якога з'яўляюцца вуглякіслы газ і атамы вадароду. Апошнія дастаўляюцца пераносчыкамі НАД і ФАД (флавінадэніндынуклеатыд) на ўнутраную мембрану мітахондрыі (мал. 61).

Ва ўнутранай мембране мітахондрый утрымліваецца фермент АТФ-сінтэтаза, а таксама бялковыя комплексы, якія ўтвараюць электрон-транспартны ланцуг (ЭТЦ). У выніку функцыянавання кампанентаў ЭТЦ атамы вадароду, атрыманыя ад НАД і ФАД, раздзяляюцца на пратоны (H^+) і электроны. Пратоны пераносяцца праз унутраную мембрану мітахондрый і назапашваюцца ў міжмембраннай прасторы. Электроны з дапамогай ЭТЦ дастаўляюцца ў матрыкс на канечны акцэптар — кісларод (O_2). У выніку ўтвараюцца аніёны O^{2-}.

Назапашванне пратонаў у міжмембраннай прасторы вядзе да ўзнікнення электрахімічнага патэнцыялу на ўнутранай мембране мітахондрый. Пры дасягненні пэўнай канцэнтрацыі пратоны пачынаюць перамяшчацца ў матрыкс, праходзячы праз спецыяльныя каналы ферменту АТФ-сінтэтазы. Электрахімічная энергія выкарыстоўваецца для сінтэзу вялікай колькасці малекул АТФ. У матрыксе пратоны злучаюцца з аніёнамі кіслароду і ўтвараецца вада: $2H^+ + O^{2-} \rightarrow H_2O$.

Такім чынам, пры поўным расшчапленні адной малекулы глюкозы клетка можа сінтэзаваць **38 малекул АТФ** (2 малекулы ў працэсе гліколізу і 36 малекул у ходзе кіслароднага этапу). Агульнае ўраўненне аэробнага дыхання можна запісаць наступным чынам:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 38АДФ + 38H_3PO_4 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38АТФ.$$

Асноўнай крыніцай энергіі для клетак з'яўляюцца вугляводы, але ў працэсах энергетычнага абмену таксама могуць выкарыстоўвацца прадукты расшчаплення тлушчаў і бялкоў.

?

1. Клетачнае дыханне адносіцца да працэсаў асіміляцыі ці дысіміляцыі? Чаму?

2. Што ўяўляе сабой працэс клетачнага дыхання? Адкуль бярэцца энергія для сінтэзу АТФ у працэсе клетачнага дыхання?

3. Пералічыце этапы клетачнага дыхання. Якія з іх суправаджаюцца сінтэзам АТФ? Якая колькасць АТФ (у разліку на 1 моль глюкозы) можа ўтварыцца ў ходзе кожнага этапу?

4. Дзе ажыццяўляецца гліколіз? Якія рэчывы неабходны для працякання гліколізу? Якія канчатковыя прадукты пры гэтым утвараюцца?

5. У якіх арганоідах адбываецца кіслародны этап клетачнага дыхання? Якія рэчывы ўступаюць у гэты этап? Якія прадукты ўтвараюцца?

6. У падрыхтоўчы этап клетачнага дыхання ўступае 81 г глікагену. Якая максімальная колькасць АТФ (моль) можа сінтэзавацца ў выніку наступнага гліколізу? У ходзе аэробнага этапу дыхання?

7. Чаму расшчапленне арганічных злучэнняў пры ўдзеле кіслароду энергетычна больш эфектыўна, чым пры яго адсутнасці?

8. Даўжыня мітахондрый вагаецца ад 1 да 60 мкм, а шырыня — у межах 0,25—1 мкм. Чаму пры настолькі значных адрозненнях у даўжыні мітахондрый іх шырыня адносна невялікая і параўнальна пастаянная?

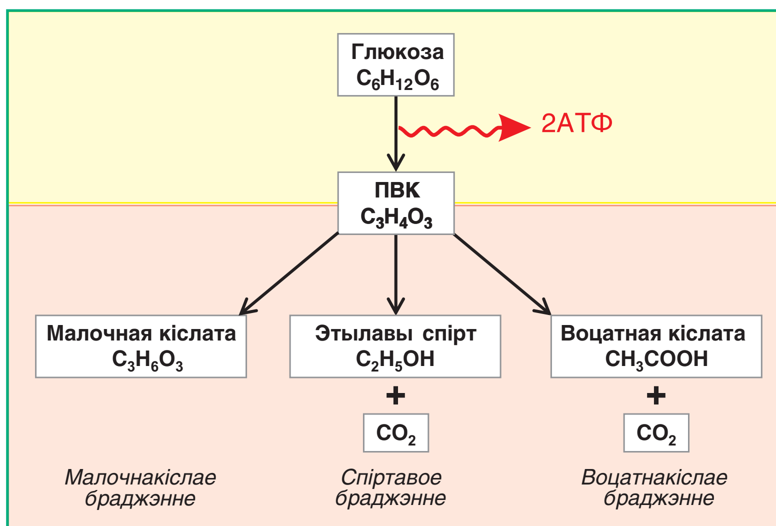
§ 26. Браджэнне

Жыццё некаторых арганізмаў магчыма ў бескіслародным асяроддзі. Такія арганізмы называюцца анаэробамі. Да анаэробаў адносяцца многія *бактэрыі*, некаторыя *пратысты, грыбы* (напрыклад, *дрожджы*) і *жывёлы* (напрыклад, *смактуны, стужачныя чарвякі, аскарыды*). Большасць анаэробных арганізмаў атрымлівае энергію, неабходную для жыццядзейнасці, у працэсе браджэння.

Браджэнне — працэс анаэробнага расшчаплення арганічных рэчываў, пераважна вугляводаў, які адбываецца пад уздзеяннем ферментаў. Браджэнне можа працякаць таксама ў клетках аэробных арганізмаў ва ўмовах дэфіцыту кіслароду.

На першым этапе браджэння глюкоза расшчапляецца да піравінаграднай кіслаты (як і ў працэсе гліколізу). Пры гэтым утвараюцца 2 малекулы НАД·Н+H^+ і 2 малекулы АТФ. Затым піравінаградная кіслата ператвараецца ў малочную кіслату, этылавы спірт, воцатную кіслату або іншыя прадукты (мал. 62). У залежнасці ад канчатковага прадукту адрозніваюць малочнакіслае, спіртавое, воцатнакіслае і іншыя віды браджэння.

Тэрмін «браджэнне» быў уведзены галандскім алхімікам Ван Гельмантам у XVII ст. для працэсаў, якія ідуць з выдзяленнем газаў. У XIX ст. заснавальнік сучаснай мікрабіялогіі Луі Пастэр паказаў, што браджэнне з'яўляецца вынікам жыццядзейнасці мікраарганізмаў, і ўстанавіў, што розныя тыпы браджэння выклікаюцца рознымі групамі мікраарганізмаў.



Мал. 62. Схема асноўных тыпаў браджэння

Малочнае браджэнне ажыццяўляюць *малочнакіслыя бактэрыі*. Пры гэтым тыпе браджэння глюкоза расшчапляецца да піравінаграднай кіслаты ($C_3H_4O_3$), якая потым аднаўляецца да малочнай кіслаты ($C_3H_6O_3$).

Схематычна малочнакіслае браджэнне можна выразіць наступнымі ўраўненнямі:

1) $C_6H_{12}O_6 + 2НАД^+ + 2АДФ + 2H_3PO_4 \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 2НАД{\cdot}H + H^+ + 2АТФ$;

2) $2C_3H_4O_3 + 2НАД{\cdot}H + H^+ \rightarrow 2C_3H_6O_3 + 2НАД^+$.

Сумарнае ўраўненне малочнакіслага браджэння такое:

$$C_6H_{12}O_6 + 2АДФ + 2H_3PO_4 \rightarrow 2C_3H_6O_3 + 2АТФ.$$

Малочнакіслае браджэнне ажыццяўляецца таксама ў мышцах чалавека і жывёл ва ўмовах дэфіцыту кіслароду. Назапашванне малочнай кіслаты з’яўляецца адной з прычын развіцця стамлення мышцаў. З цячэннем крыві малочная кіслата трапляе ў печань і ныркі, дзе перапрацоўваецца ў глюкозу.

Спіртавое браджэнне выклікаюць *дрожджы*, а таксама некаторыя *анаэробныя бактэрыі*. Гэты тып браджэння назіраецца і ў раслінных клетках пры адсутнасці кіслароду. Пры спіртавым браджэнні глюкоза расшчапляецца да ПВК, якая, у сваю чаргу, расшчапляецца з утварэннем этылавага спірту (C_2H_5OH) і вуглякіслага газу.

Спачатку спіртавое браджэнне ідзе аналагічна малочнакісламу:

1) $C_6H_{12}O_6 + 2НАД^+ + 2АДФ + 2H_3PO_4 \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 2НАД{\cdot}H{+}H^+ + 2АТФ$.

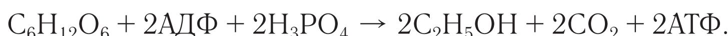
2) Затым піравінаградная кіслата расшчапляецца з утварэннем воцатнага альдэгіду (CH_3COH) і вуглякіслага газу:

$$2C_3H_4O_3 \rightarrow 2CH_3COH + 2CO_2.$$

3) Воцатны альдэгід аднаўляецца да этылавага спірту за кошт $НАД{\cdot}H{+}H^+$:

$$2CH_3COH + 2НАД{\cdot}H{+}H^+ \rightarrow 2C_2H_5OH + 2НАД^+.$$

Працэс спіртавога браджэння можна паказаць агульным ураўненнем:



$$C_6H_{12}O_6 + 2АДФ + 2H_3PO_4 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2АТФ.$$

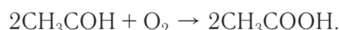
Воцатнакіслае браджэнне ажыццяўляецца *воцатнакіслымі бактэрыямі*. Пры такім тыпе браджэння ўтвараюцца в о ц а т н а я к і с л а т а (CH_3COOH) і вуглякіслы газ.

Першыя два этапы воцатнакіслага браджэння адбываюцца аналагічна спіртавому:

1) $C_6H_{12}O_6 + 2НАД^+ + 2АДФ + 2H_3PO_4 \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 2НАД{\cdot}H{+}H^+ + 2АТФ$.

2) $2C_3H_4O_3 \rightarrow 2CH_3COH + 2CO_2$.

3) Завяршальны этап адбываецца з удзелам кіслароду, які акісляе воцатны альдэгід у воцатную кіслату:



$$2CH_3COH + O_2 \rightarrow 2CH_3COOH.$$

Пры любым тыпе браджэння не адбываецца поўнага акіслення глюкозы, таму значная частка энергіі застаецца ў канчатковых прадуктах — малочнай кіслаце, этылавым спірце і інш. Энергетычны выхад браджэння — **2 малекулы АТФ** (з разліку на адну малекулу глюкозы). Таму пры расшчапленні аднолькавай колькасці вугляводаў у працэсе энергетычнага абмену анаэробы атрымліваюць значна менш энергіі, чым аэробы.

Практычнае значэнне браджэння. Браджэнне вядома людзям з даўніх часоў. Тысячагоддзямі чалавек выкарыстоўваў спіртавое браджэнне для прыгатавання віна, а малочнакіслае — для атрымання кісламалочных прадуктаў, вырабу сыроў. У тыя часы людзі не ведалі, што ўсе гэтыя працэсы адбываюцца з дапамогай мікраарганізмаў.

Працэсы браджэння знаходзяць шырокае практычнае прымяненне і ў цяперашні час. Спіртавое браджэнне ляжыць у аснове прамысловага атрымання розных спіртоў, перш за ўсё этылавага, а таксама віна і піва. Выкарыстанне драждждэй у хлебапячэнні звязана з тым, што пузыркі вуглякіслага газу, які ўтвараецца ў працэсе спіртавога браджэння, разрыхляюць цеста, робячы яго пышным.

У розных частках свету для атрымання спірту выкарыстоўваюць розныя мікраарганізмы. Напрыклад, у Еўропе часцей за ўсё прымяняюць дрожджы з роду *Saccharomyces*, у Паўднёвай Амерыцы — бактэрыі *Pseudomonas lindneri*, у Азіі — *мукоравыя грыбы*.

Воцатнакіслае браджэнне ляжыць у аснове атрымання харчовага воцату. Малочнакіслае браджэнне выкарыстоўваецца для атрымання розных кісламалочных прадуктаў, пры саленні і квашанні агародніны, сіласаванні кармоў і г. д. Прадуктам сумеснай дзейнасці малочнакіслых бактэрый і дражджэй з'яўляецца кефір. Вядома мноства нацыянальных кісламалочных прадуктаў (кумыс, айран, ёгурт і інш.), для прыгатавання якіх выкарыстоўваюць каровіна, кабыліна, вярблюджае, авечае, казінае малако, а ў якасці заквасак — натуральна ўзнікшыя і захоўваемыя комплексы малочнакіслых бактэрый і дражджэй.

Скісанне вяршкоў, неабходнае для атрымання сметанковага масла, выклікаюць бактэрыі роду *стрэптакок*. Акрамя малочнай кіслаты, некаторыя з іх утвараюць ацэтон і дыяцэтыл, якія надаюць сметанковаму маслу характэрны пах і смак. Субстратам пры гэтым служыць лімонная кіслата, утрыманне якой у малацэ дасягае 1 г/л.

Таксама неабходна адзначыць, што працэсы браджэння іграюць важную ролю ў кругавароце рэчываў у прыродзе.

? **1.** Што такое браджэнне? Ці можа браджэнне працякаць у клетках аэробных арганізмаў?
2. Якія тыпы браджэння вам вядомы? Назавіце канчатковыя прадукты кожнага тыпу браджэння.
3. Ахарактарызуйце практычнае значэнне розных тыпаў браджэння. Чым абумоўлена выкарыстанне дражджэй у вінаробстве? У хлебапячэнні?
4. Вядома, што падчас прыгатавання віна ў дамашніх умовах іншы раз замест віна ўтвараецца прадукт з высокім утрыманнем воцатнай кіслаты. Чым гэта можна растлумачыць?
5. Чаму пры браджэнні вызваляецца менш энергіі, чым пры клетачным дыханні?
6. У чым заключаецца падабенства браджэння і клетачнага дыхання? Чым браджэнне адрозніваецца ад клетачнага дыхання?
7. Вызначыце масу глюкозы, расшчэпленай малочнакіслымі бактэрыямі, калі імі было ўтворана 135 г малочнай кіслаты. Якая максімальная колькасць АТФ (моль) магла сінтэзавацца ў клетках малочнакіслых бактэрый?
8. Дрожджы ўтылізавалі 90 г глюкозы, пры гэтым частка глюкозы падверглася поўнаму акісленню, а другая частка была расшчэплена ў працэсе спіртавога браджэння. У выніку было ўтворана 61,6 г вуглякіслага газу. Якая максімальная колькасць АТФ (моль) магла ўтварыцца пры гэтым у клетках дражджэй? Якая частка глюкозы (%) была расшчэплена ў працэсе браджэння?

§ 27. Фотасінтэз

Паняцце фотасінтэзу. Для жывых арганізмаў Зямлі асноўнай крыніцай энергіі з'яўляецца сонечнае святло, дзякуючы якому прама або ўскосна задавальняюцца іх энергетычныя патрэбы. У працэсе фотасінтэзу *расліны, водарасці, цыянабактэрыі* з дапамогай спецыяльных пігментаў паглынаюць сонечную энергію і пераўтвараюць яе ў энергію хімічных сувязей арганічных рэчываў. Пры гэтым зыходнымі злучэннямі для сінтэзу арганічных рэчываў служаць бедныя

энергіяй неарганічныя рэчывы — вуглякіслы газ і вада. Такім чынам, **фотасінтэз** (ад грэч. *фотас* — святло) — гэта працэс утварэння арганічных рэчываў з вуглякіслага газу і вады на святле пры ўдзеле фотасінтэтычных пігментаў.

Фотасінтэтычныя пігменты — гэта арганічныя рэчывы, здольныя паглынаць энергію святла. Пры гэтым яны паглынаюць святло пэўнай даўжыні хвалі, а іншыя светлавыя хвалі адбіваюць. Адрозніваюць тры класы фотасінтэтычных пігментаў — хларафілы, караціноіды і фікабіліны.

Найбольш важнымі пігментамі з'яўляюцца хларафілы (ад грэч. *хлорас* — зялёны, *філан* — ліст). Вядома некалькі форм хларафілу (*a*, *b*, *c* і інш.), якія адрозніваюцца будовай малекул. Усе хларафілы інтэнсіўна паглынаюць чырвонае і сіняе святло, а зялёнае адбіваюць, што і вызначае зялёную афарбоўку гэтых пігментаў, а значыць, і лістоў раслін.

Другую групу фотасінтэтычных пігментаў складаюць караціноіды (ад лац. *карота* — морква), якія маюць розную афарбоўку — аранжавую, жоўтую, чырвоную і інш. Яны ўтрымліваюцца ў хларапластах і храмапластах. Восенню, калі хларафілы разбураюцца, караціноіды становяцца добра прыметнымі (лісце мяняе афарбоўку). Караціноіды паглынаюць святло, недаступнае іншым пігментам, і перадаюць паглынутую энергію хларафілам.

Для чырвоных водарасцей і цыянабактэрый, акрамя хларафілаў, характэрны таксама фікабіліны (ад грэч. *фікас* — водарасць і *біліс* — жоўць). Гэтыя пігменты маюць чырвоную або сінюю афарбоўку і здольны паглынаць зялёнае, сіняе і фіялетавае святло, якое пранікае ў глыбіню мораў і акіянаў.

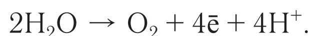
Утвораныя ў працэсе фотасінтэзу арганічныя злучэнні з'яўляюцца не толькі крыніцай энергіі, але і крыніцай атамаў вугляроду, вадароду і кіслароду для сінтэзу рэчываў, неабходных арганізму пры пабудове новых клетак і структур. Значная частка прадуктаў фотасінтэзу можа пераўтварацца і назапашвацца ў выглядзе крухмалу, тлушчаў або бялкоў.

У раслін і водарасцей фотасінтэз ажыццяўляецца ў спецыяльных арганоідах — **хларапластах**. Вы ўжо ведаеце, што ўнутраная мембрана хларапластаў утварае тылакоіды — плоскія мяшочкі, складзеныя ў стосікі (граны). У мембранах тылакоідаў размешчаны асобыя пігмент-бялковыя комплексы — фотасістэмы.

Існуюць два тыпы фотасістэм — фотасістэма I і фотасістэма II. У склад кожнай з іх уваходзіць святлозбіраючая антэна, утвораная малекуламі пігментаў, рэакцыйны цэнтр і пераносчыкі электронаў. Святлозбіраючая антэна функцыянуе накшталт варонкі: малекулы пігментаў паглынаюць святло і перадаюць усю сабраную энергію ў рэакцыйны цэнтр, дзе знаходзіцца малекула-пастка, прадстаўленая хларафілам *a* (мал. 63). Праглынуўшы энергію, малекула-пастка пераходзіць ва ўзбуджаны стан і аддае адзін са сваіх электронаў спецыяльнаму пераносчыку, г. зн. акісляецца.

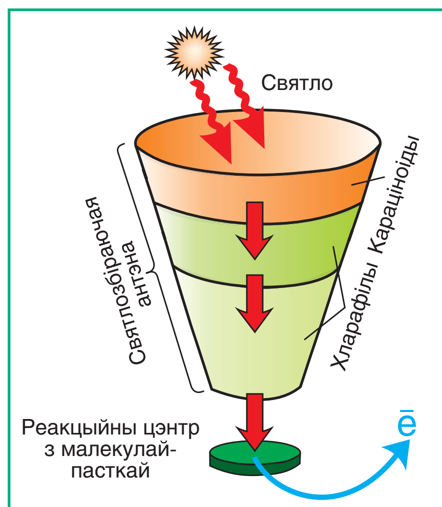
Галоўнае адрозненне фотасістэм заключаецца ў тым, што ў склад фотасістэмы II уваходзіць асобы ферментны комплекс, які на святле ажыццяўляе фатоліз

вады — расшчапленне малекул вады з утварэннем кіслароду (O_2), электронаў і пратонаў (H^+):



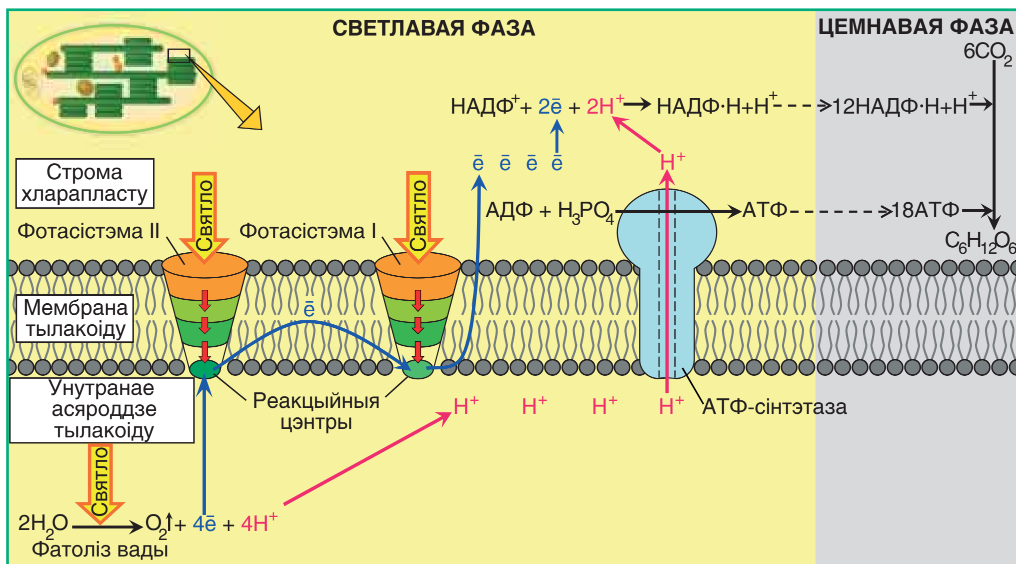
$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4\bar{e} + 4H^+.$$

Атрыманыя пры гэтым электроны выкарыстоўваюцца фотасістэмай II для аднаўлення малекулы-пасткі ў рэакцыйным цэнтры. У фотасістэме I адсутнічае падобны ферментны комплекс, і, такім чынам, яна здольна выкарыстоўваць ваду ў якасці крыніцы электронаў для аднаўлення сваёй малекулы-пасткі.



Мал. 63. Схема будовы і работы фотасістэмы

Фотасінтэз адбываецца ў дзве фазы — **светлавую** і **цемнавую** (мал. 64). Светлавая фаза ажыццяўляецца на мембранах тылакоідаў і толькі пры наяўнасці святла. Рэакцыі цемнавой фазы працякаюць у строме хларапласта і не патрабуюць святла, аднак для іх праходжання неабходны прадукты светлавой фазы. Таму цемнавая фаза ідзе практычна адначасова са светлавой.



Мал. 64. Схема працэсу фотасінтэзу

Светлавая фаза фотасінтэзу. Працэсы, якія працякаюць у светлавой фазе, можна прадставіць наступным чынам.

1. Пігменты абедзвюх фотасістэм паглынаюць святло, атрыманая энергія перадаецца ў рэакцыйныя цэнтры на малекулы хларафілу *a* (малекулы-пасткі), якія пераходзяць ва ўзбуджаны стан і аддаюць электроны пераносчыкам.

Электрон з фотасістэмы I транспартуецца пераносчыкамі на знешні бок тылакоіду. Электрон з фотасістэмы II з дапамогай пераносчыкаў дастаўляецца ў фотасістэму I і аднаўляе малекулу-пастку ў рэакцыйным цэнтры. Такім чынам, фотасістэма I, у сваю чаргу, аднаўляецца за кошт электронаў з фотасістэмы II, якая атрымлівае іх, як вы ўжо ведаеце, за кошт фатолізу вады.

Кісларод, які ўтвараецца пры фатолізе вады, выдзяляецца з хларапласту ў гіялаплазму клеткі, затым у навакольнае асяроддзе, а пратоны (H^+) назапашваюцца ўнутры тылакоіду.

2. Накапленне пратонаў унутры тылакоіду вядзе да ўзнікнення электрахімічнага патэнцыялу на яго мембране. У мембране тылакоіду ўтрымліваецца фермент АТФ-сінтэтаза. Калі канцэнтрацыя пратонаў дасягае пэўнага ўзроўню, яны імкнуцца ў строму хларапласту, праходзячы праз спецыяльныя каналы АТФ-сінтэтазы. Пры гэтым АТФ-сінтэтаза выкарыстоўвае энергію руху пратонаў для сінтэзу АТФ.

3. На знешнім баку тылакоіду адбываецца аднаўленне $НАДФ^+$ за кошт далучэння да яго электронаў і пратонаў. НАДФ — нікатынамідадэніндынуклеатыдфасфат (поўная назва даецца не для запамінання) — пераносчык атамаў вадароду ў працэсе фотасінтэзу.

$$НАДФ^+ + 2\bar{e} + 2H^+ \rightarrow НАДФ{\cdot}H + H^+.$$

Такім чынам, у працэсе светлавой фазы энергія святла паглынаецца і пераўтвараецца ў энергію макраэргічных сувязей АТФ, адбываецца расшчапленне вады з выдзяленнем кіслароду і накапленне атамаў вадароду (у форме $НАДФ{\cdot}H+H^+$). Прадуктамі светлавой фазы фотасінтэзу з'яўляюцца АТФ, адноўлены НАДФ і кісларод. Кісларод — пабочны прадукт фотасінтэзу, ён выдзяляецца ў навакольнае асяроддзе. АТФ і $НАДФ{\cdot}H+H^+$ выкарыстоўваюцца ў цемнавой фазе фотасінтэзу.

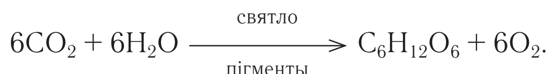
Цемнавая фаза фотасінтэзу. З навакольнага асяроддзя ў хларапласты паступае вуглякіслы газ, а ў строме хларапластаў адбываецца яго аднаўленне да арганічных рэчываў. Гэта складаны многаступеньчаты працэс, які можна паказаць агульным ураўненнем:

$$6CO_2 + 12НАДФ{\cdot}H+H^+ + 18АТФ \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 12НАДФ^+ + 18АДФ + 18H_3PO_4.$$

Годнеў Ціхан Мікалаевіч (1893—1982) — вядомы беларускі вучоны, фізіёлаг раслін, даследчык механізмаў фатасінтэзу.

З прыведзенага ўраўнення відаць, што для сінтэзу адной малекулы глюкозы неабходна акісліць 12 малекул НАДФ·Н+H^+ (служыць крыніцай атамаў вадароду) і расшчапіць 18 малекул АТФ (з'яўляецца крыніцай энергіі для сінтэзу глюкозы). Такім чынам, у цемнавой фазе фотасінтэзу энергія макраэргічных сувязей АТФ пераўтвараецца ў энергію хімічных сувязей арганічных рэчываў.

У цемнавой фазе фотасінтэзу, як ужо адзначалася раней, выкарыстоўваюцца прадукты светлавой фазы (НАДФ·Н+H^+ і АТФ), таму рэакцыі цемнавой фазы адбываюцца амаль адначасова з рэакцыямі светлавой фазы. Калі аб'яднаць працэсы, якія адбываюцца ў абедзвюх фазах, выключыўшы ўсе прамежкавыя стадыі і рэчывы, можна атрымаць сумарнае ўраўненне працэсу фотасінтэзу:



$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{пігменты}]{\text{святло}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

Значэнне фотасінтэзу. Унікальнасць і біялагічнае значэнне фотасінтэзу вызначаецца тым, што жыццё на нашай планеце ўсім сваім існаваннем абавязана гэтаму працэсу. Фотасінтэз з'яўляецца асноўнай крыніцай пажыўных рэчываў для жывых арганізмаў, а таксама адзіным пастаўшчыком свабоднага кіслароду на Зямлі. З кіслароду сфарміраваўся і падтрымліваецца азонавы слой, які ахоўвае жывыя арганізмы Зямлі ад згубнага ўздзеяння кароткахвалевага ўльтрафіялетавага выпраменьвання. Акрамя таго, дзякуючы фотасінтэзу падтрымліваецца адносна пастаяннае ўтрыманне CO_2 у атмасферы.

У вывучэнне працэсу фотасінтэзу, раскрыццё яго механізма вялікі ўклад унеслі вучоныя розных краін: выдатны рускі вучоны К. А. Ціміразеў, амерыканец М. Кальвін, аўстралійцы М. Д. Хетч і К. Р. Слэк, а таксама беларускія вучоныя Ц. М. Годнеў і А. А. Шлык.

?
1. Фотасінтэз адносіцца да працэсаў пластычнага ці энергетычнага абмену? Чаму?
2. У якіх арганоідах расліннай клеткі адбываецца фотасінтэз? Што ўяўляе сабой фотасістэма? Якую функцыю выконваюць фотасістэмы?
3. Якое значэнне фотасінтэзу на Зямлі? Чаму без фотатрофных арганізмаў існаванне біясферы было б немагчымым?

4. Ахарактарызуйце светлавую і цемнавую фазы фотасінтэзу па плане: 1) месца працякання; 2) зыходныя рэчывы; 3) працэсы, якія адбываюцца; 4) канчатковыя прадукты. Якія прадукты светлавой фазы фотасінтэзу выкарыстоўваюцца ў цемнавой фазе?
5. Параўнайце фотасінтэз і аэробнае дыханне. Назавіце рысы падабенства і адрознення.
6. Чалавек за суткі спажывае прыкладна 430 г кіслароду. Дрэва сярэдняй велічыні паглынае каля 30 кг вуглякіслага газу ў год. Колькі дрэў неабходна, каб забяспечыць аднаго чалавека кіслародам?
7. Даследчыкі раздзялілі расліны пшаніцы на дзве групы і вырошчвалі іх у лабараторыі ў аднолькавых умовах, за выключэннем таго, што расліны першай групы асвятлялі чырвоным святлом, а расліны другой групы — зялёным. У раслін якой групы фотасінтэз працякаў больш інтэнсіўна? З чым гэта звязана?
8. З дапамогай якога эксперымента можна даказаць, што кісларод, які выдзяляецца пры фотасінтэзе, утвараецца менавіта з малекул вады, а не з малекул вуглякіслага газу або якога-небудзь іншага рэчыва?

§ 28. Захаванне спадчыннай інфармацыі

Паняцце аб генетычным кодзе. Адным з важнейшых працэсаў, якія адбываюцца ў клетках жывых арганізмаў, з'яўляецца сінтэз бялкоў. Бялкі выконваюць у арганізме самыя разнастайныя функцыі, таму для гэтага неабходна сінтэзаваць тысячы розных бялкоў. Улічваючы, што большасць бялкоў мае абмежаваны тэрмін функцыянавання, іх сінтэз не павінен спыняцца ні на хвіліну.

Кожны від жывых арганізмаў мае свой уласны, строга вызначаны набор бялкоў. Бялкі з'яўляюцца асновай унікальнасці кожнага віду. У той жа час некаторыя з іх, выконваючы адну і тую ж функцыю ў розных арганізмах, могуць быць падобнымі і нават аднолькавымі. Акрамя таго, асобіны аднаго віду хоць крыху, але адрозніваюцца адна ад другой. Індывідуальную непаўторнасць кожнай асобіны таксама забяспечваюць адрозненні ў структуры бялкоў.

Уласцівасці бялкоў вызначаюцца перш за ўсё іх першаснай структурай, г. зн. паслядоўнасцю амінакіслот. Інфармацыю аб першаснай структуры ўсіх бялкоў арганізма змяшчаюць малекулы ДНК. Значыць, інфармацыя аб будове і жыццядзейнасці як кожнай асобнай клеткі, так і ўсяго мнагаклетачнага арганізма заключана ў паслядоўнасці нуклеатыдаў ДНК. Гэтая інфармацыя называецца **спадчыннай** або **генетычнай**.

Участак малекулы ДНК, які змяшчае інфармацыю аб першаснай структуры аднаго бялка, атрымаў назву **ген**. Акрамя таго, генамі называюць участкі ДНК, якія змяшчаюць інфармацыю аб структуры малекул рРНК і тРНК. У малекуле ДНК кожнае «паведамленне» ўяўляе сабой спецыфічную паслядоўнасць, «запісаную» з выкарыстаннем чатырох «знакаў» — нуклеідаў А, Т, Г, Ц, падобна таму як пісьмовыя паведамленні запісваюцца літарамі алфавіта. Сістэма

запісу інфармацыі аб першаснай структуры бялкоў у выглядзе паслядоўнасці нуклеатыдаў атрымала назву **генетычнага кода**.

Уласцівасці генетычнага кода. Генетычны код характарызуецца наступнымі ўласцівасцямі.

1. Код з'яўляецца **трыплетным,** г. зн. кожная амінакіслата кадзіруецца трыплетам (кадонам) — спалучэннем трох паслядоўна размешчаных нуклеатыдаў. Да цяперашняга часу вядома, якія трыплеты інфармацыйнай РНК (і, адпаведна, ДНК) кадзіруюць кожную з 20 бялокутваральных амінакіслот (табл. 3).

Табліца 3. **Генетычны код, указаны нуклеатыды іРНК**
(першы нуклеатыд трыплета бяруць з левага вертыкальнага рада, другі — з гарызантальнага, трэці — з правага вертыкальнага рада)

Першы нуклеатыд	Другі нуклеатыд				Трэці нуклеатыд
	У	Ц	А	Г	
У	Фен Фен Лей Лей	Сер Сер Сер Сер	Тыр Тыр **Стоп** **Стоп**	Цыс Цыс **Стоп** Трп	У Ц А Г
Ц	Лей Лей Лей Лей	Про Про Про Про	Гіс Гіс Глн Глн	Арг Арг Арг Арг	У Ц А Г
А	Іле Іле Іле Мет	Тре Тре Тре Тре	Асн Асн Ліз Ліз	Сер Сер Арг Арг	У Ц А Г
Г	Вал Вал Вал Вал	Ала Ала Ала Ала	Асп Асп Глу Глу	Глі Глі Глі Глі	У Ц А Г

Звярніце ўвагу, што некаторыя трыплеты іРНК (УАА, УАГ, УГА) не кадзіруюць амінакіслоты. Гэта так званая тэрмінуючыя кадоны (стоп-кадоны). Яны служаць сігналам заканчэння сінтэзу бялку.

2. Код **не перакрываецца** — адзін і той жа нуклеатыд не можа ўваходзіць адначасова ў састаў двух суседніх трыплетаў.

3. Код **адназначны** — кожны трыплет кадзіруе толькі адну амінакіслату.

4. Няцяжка падлічыць, што лік магчымых камбінацый з чатырох тыпаў нуклеатыдаў па тры складае $4^3 = 64$. Гэтага больш чым дастаткова для кадзіравання 20 амінакіслот, якія ўваходзяць у састаў бялкоў. У сувязі з гэтым код з'яўляецца **залішнім (выраджаным)** — адна і тая ж амінакіслата можа кадзіравацца некалькімі рознымі трыплетамі. Напрыклад, у іРНК фенілаланін можа кадзіравацца трыплетам УУУ або трыплетам УУЦ; ізалейцын — АУУ, АУЦ, АУА; пралін — ЦЦУ, ЦЦЦ, ЦЦА, ЦЦГ; серын — УЦУ, УЦЦ, УЦА, УЦГ, АГУ, АГЦ.

Выключэнне складаюць метыянін і трыптафан. Метыянін кадзіруецца толькі адным трыплетам — АУГ, трыптафан — толькі трыплетам УГГ.

5. Код **бесперапынны**, або, іначай кажучы, **не мае знакаў прыпынку**. Гэта азначае, што калі адбудзецца выпадзенне аднаго нуклеатыду, то пры счытванні яго месца зойме бліжэйшы нуклеатыд з суседняга кадону. З-за гэтага зменіцца і ўвесь парадак счытвання. Змяненне парадку счытвання адбываецца не толькі ў выпадку выпадзення нуклеатыдаў, але і з-за ўстаўкі лішніх нуклеатыдаў.

Правільнае счытванне кода з іРНК забяспечваецца толькі ў тым выпадку, калі яно пачынаецца са строга вызначанага пункта. У малекуле іРНК стартавым кадонам з'яўляецца АУГ, менавіта з яго пачынаецца счытванне.

6. Код **універсальны** — ва ўсіх жывых арганізмах адным і тым жа трыплетам адпавядаюць адны і тыя ж амінакіслоты. Іншымі словамі, ва ўсіх жывых арганізмах генетычны код расшыфроўваецца аднолькава (за рэдкім выключэннем). Універсальнасць генетычнага кода сведчыць аб адзінстве паходжання жывых арганізмаў.

У кожнай малекуле ДНК, як правіла, закадзіравана інфармацыя аб першаснай структуры мноства розных бялкоў, г. зн. у кожнай храмасоме ўтрымліваецца шмат генаў. Адрозніваюць гены, у якіх закадзіравана інфармацыя аб структуры бялкоў (на гэтых генах адбываецца сінтэз іРНК), а таксама гены, на якіх адбываецца сінтэз рРНК і тРНК.

? **1.** Вызначыце адпаведнасць:

1) сістэма запісу інфармацыі аб першаснай структуры бялкоў у выглядзе паслядоўнасці нуклеатыдаў	а) ген
2) участак малекулы ДНК, які ўтрымлівае інфармацыю аб першаснай структуры аднаго бялку	б) кадон
3) тры паслядоўна размешчаныя нуклеатыды, якія кадзіруюць адну амінакіслату	в) генетычны код

2. Што ўяўляе сабой спадчынная інфармацыя? Якім чынам у клетках захоўваецца спадчынная інфармацыя?
3. Ахарактарызуйце ўласцівасці генетычнага кода.
4. Што ўяўляюць сабой тэрмінуючыя кадоны? Якую ролю іграе стартавы кадон АУГ?
5. Чаму амінакіслата кадзіруецца не адным і не двума, а трыма паслядоўна размешчанымі нуклеатыдамі?
6. Малекула іРНК пачынаецца з паслядоўнасці нуклеатыдаў: АУГГУАЦЦУУГГЦАЦ... З якой паслядоўнасці амінакіслотных астаткаў пачынаецца бялок, закадзіраваны гэтай іРНК?
7. Як вы думаеце, якое біялагічнае значэнне мае ўласцівасць выраджэння генетычнага кода?
8. Дзеянне некаторых фактараў (рэнтгенаўскіх прамянёў, ультрафіялетавага выпрамяньвання, пэўных хімічных рэчываў і інш.) або памылкі, якія часам узнікаюць пры рэплікацыі, могуць прыводзіць да змянення паслядоўнасці нуклеатыдаў ДНК. Пры гэтым можа адбывацца ўстаўка або выпадзенне нуклеатыдаў або замена адных нуклеатыдаў на другія. Як вы лічыце, якія змены часцей прыводзяць да парушэння нармальнага функцыянавання клетак (і нават да іх гібелі) — устаўкі і выпадзенні або замены нуклеатыдаў ДНК? Адказ абгрунтуйце.

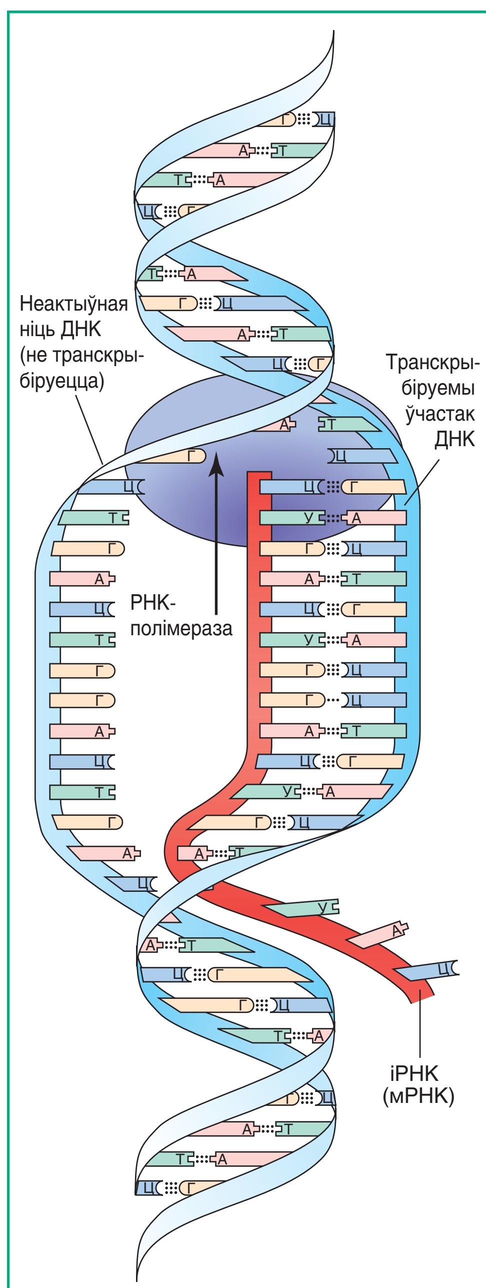
§ 29. Рэалізацыя спадчыннай інфармацыі

Працэс біясінтэзу бялку ажыццяўляецца на рыбасомах, а захавальнікам генетычнай інфармацыі з'яўляецца ДНК. Для перадачы інфармацыі з ДНК, якая знаходзіцца ў ядры, да месца сінтэзу бялку патрабуецца пасрэднік. Яго ролю выконвае **інфармацыйная (матрычная) РНК,** якая сінтэзуецца на адным з ланцугоў малекулы ДНК па прынцыпе камплементарнасці.

Такім чынам, рэалізацыя спадчыннай інфармацыі ў клетцы ажыццяўляецца ў два этапы: спачатку інфармацыя аб структуры бялку капіруецца з ДНК на іРНК (транскрыпцыя), а затым рэалізуецца на рыбасоме ў выглядзе канчатковага прадукту — бялку (трансляцыя). Гэта можна паказаць у выглядзе схемы:

Транскрыпцыя. Перапісванне спадчыннай інфармацыі з ДНК на іРНК называецца **транскрыпцыяй** (ад лац. *транскрыпцыо* — перапісванне). Гэты працэс адбываецца наступным чынам.

На пэўным участку малекулы ДНК адбываецца раз'яднанне камплементарных ланцугоў. Уздоўж аднаго з ланцугоў (яго называюць транскрыбіруемым ланцугом) пачынае рухацца фермент РНК-полімераза.



Мал. 65. Схема транскрыпцыі

РНК-полімераза сінтэзуе з нуклеатыдаў малекулу іРНК, пры гэтым транскрыбіруемы ланцуг ДНК выкарыстоўваецца ў якасці матрыцы (мал. 65). Атрыманая іРНК камплементарна ўчастку транскрыбіруемага ланцуга ДНК, значыць, парадак нуклеатыдаў у іРНК строга вызначаны парадкам нуклеатыдаў у ДНК. Напрыклад, калі ўчастак транскрыбіруемага ланцуга ДНК мае паслядоўнасць нуклеатыдаў АЦГТГА, то адпаведны ўчастак малекулы іРНК будзе мець выгляд УГЦАЦУ (звярніце ўвагу, што ў састаў нуклеатыдаў РНК замест *тыміну* ўваходзіць *урацыл*). Такім чынам, к выніку транскрыпцыі генетычная інфармацыя перапісваецца з ДНК на іРНК.

Транскрыпцыя можа адбывацца адначасова на некалькіх генах адной храмасомы і на генах, размешчаных у розных храмасомах.

Паколькі ў адной малекуле ДНК утрымліваецца мноства генаў, вельмі важна, каб РНК-полімераза пачынала сінтэз іРНК са строга вызначанага ўчастка ДНК. Таму ў пачатку кожнага гена знаходзіцца асобая спецыфічная паслядоўнасць нуклеатыдаў, якая называецца *прамотарам*. РНК-полімераза распазнае прамотар, узаемадзейнічае з ім і пачынае сінтэз ланцужка іРНК з патрэбнага месца. Фермент сінтэзуе іРНК, далучаючы да яго новыя нуклеатыды, пакуль не дойдзе да асобай паслядоўнасці нуклеатыдаў у малекуле ДНК — *тэрмінатара*. Гэтая паслядоўнасць нуклеатыдаў паказвае, што сінтэз іРНК трэба спыніць.

У пракарыёт сінтэзаваныя малекулы іРНК могуць адразу ж узаемадзейнічаць з рыбасомамі і ўдзельнічаць у сінтэзе бялкоў. У эўкарыёт іРНК сінтэзуецца ў ядры. Там яна ўзаемадзейнічае са спецыяльнымі ядзернымі бялкамі і пераносіцца праз поры ў ядзернай мембране ў цытаплазму.

На спецыяльных генах сінтэзуюцца і два іншыя тыпы РНК: тРНК і рРНК.

Трансляцыя. Працэс сінтэзу бялку з амінакіслот, які адбываецца на рыбасомах, называецца **трансляцыяй** (ад лац. *трансляцыо* — передача). У працэсе трансляцыі ажыццяўляецца передача паслядоўнасці нуклеатыдаў малекулы іРНК у паслядоўнасць амінакіслот малекулы бялку. Іншымі словамі, «мова» нуклеатыдаў передаецца на «мову» амінакіслот.

У цытаплазме абавязкова павінен быць поўны набор амінакіслот, неабходны для сінтэзу бялкоў. Гэтыя амінакіслоты ўтвараюцца ў выніку расшчаплення бялкоў, якія арганізм атрымлівае з ежай, або сінтэзуюцца ў самім арганізме.

Інфармацыйная РНК звязваецца з малой субадзінкай рыбасомы, пасля гэтага далучаецца большая субадзінка (мал. 66).

Сінтэз бялку пачынаецца са стартавага кадона **АУГ**. Паколькі гэты трыплет кадзіруе амінакіслату метыянін, то ўсе бялкі (за выключэннем асобых выпадкаў) будуць пачынацца з астатку метыяніну. Адшчапленне гэтага астатку ў большасці бялкоў адбываецца пазней, у працэсе выспявання бялковай малекулы.

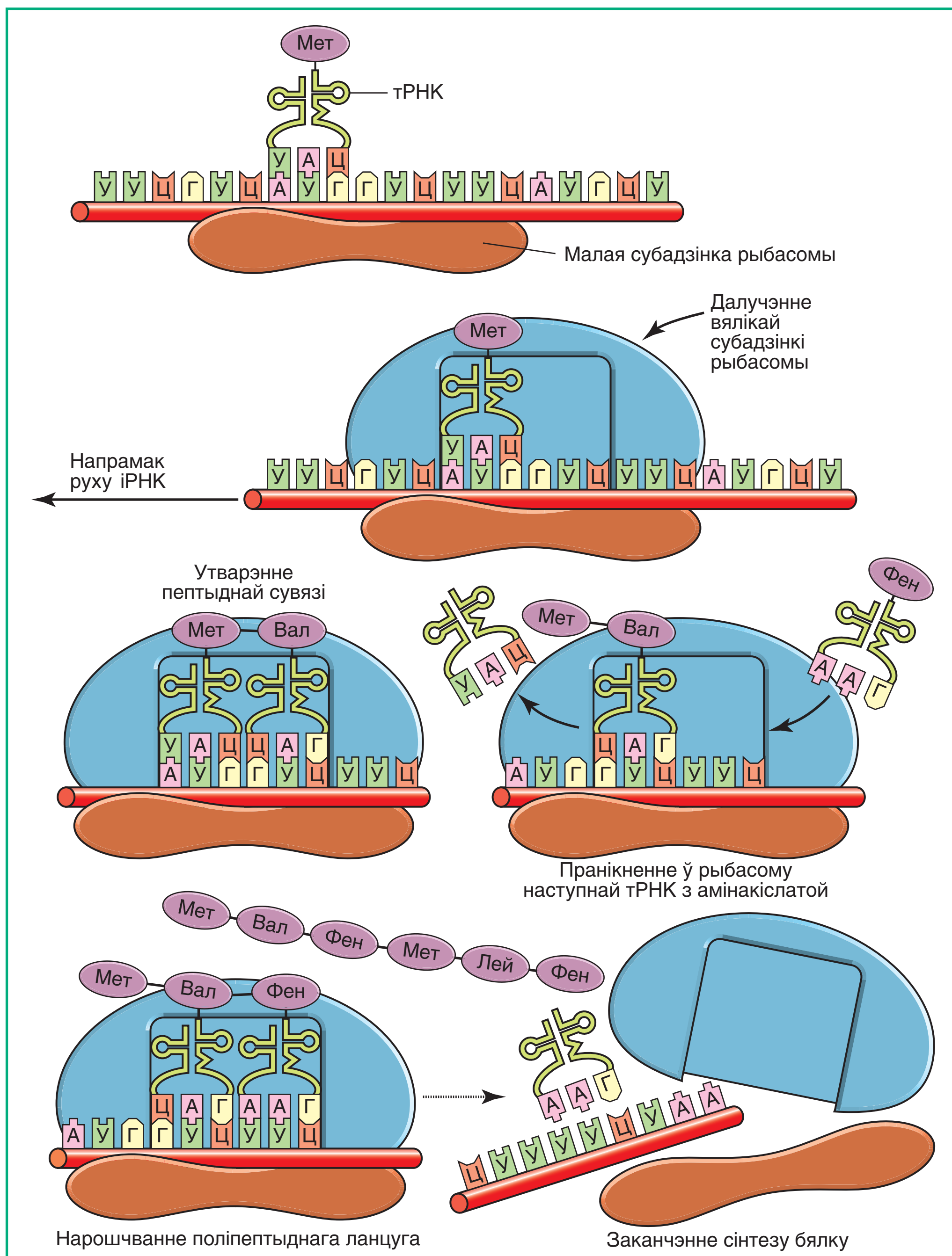
Пачынаючы са стартавага кадону, малекула іРНК паслядоўна, трыплет за трыплетам, прасоўваецца праз рыбасому, што суправаджаецца ростам поліпептыднага ланцужка. Злучэнне амінакіслот у патрэбную паслядоўнасць (у адпаведнасці з кадонамі іРНК) ажыццяўляецца на рыбасомах пры ўдзеле транспартных РНК.

Дзякуючы спецыфічнаму размяшчэнню камплементарных нуклеатыдаў малекула тРНК, як ужо адзначалася, мае форму, якая нагадвае ліст канюшыны (мал. 67). У кожнай тРНК ёсць акцэптарны канец, да якога далучаецца пэўная амінакіслата, папярэдне актываваная энергіяй АТФ. Для актывацыі адной амінакіслаты неабходна расшчапіць адну малекулу АТФ.

У супрацьлеглай частцы малекулы тРНК знаходзіцца спецыфічны трыплет — антыкадон, адказны за замацаванне па прынцыпе камплементарнасці да адпаведнага трыплета іРНК (кадону).

Малекула тРНК з далучанай актываванай амінакіслатой дзякуючы антыкадону камплементарна звязваецца з адпаведным кадонам іРНК. Такім жа чынам да наступнага кадону іРНК прымацоўваецца другая тРНК з актываванай амінакіслатой. Паміж дзвюма амінакіслотамі ўзнікае пептыдная сувязь, пасля чаго першая тРНК вызваляецца ад амінакіслаты і пакідае рыбасому.

Пасля гэтага іРНК ссоўваецца на адзін трыплет, а ў рыбасому пранікае наступная малекула тРНК з амінакіслатой. У выніку да ўтворанага дыпептыду

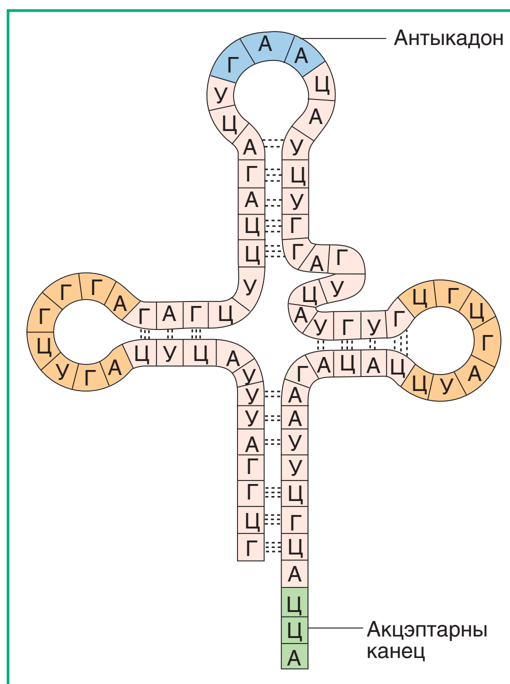


Мал. 66. Схема трансляцыі

далучаецца трэцяя амінакіслата і іРНК ссоўваецца яшчэ на адзін трыплет. Так адбываецца нарошчванне поліпептыднага ланцужка.

Працэс трансляцыі працягваецца да тых пор, пакуль у рыбасому не трапіць адзін з трох стоп-кадонаў: **УАА**, **УАГ** або **УГА**, пасля чаго сінтэз бялку спыняецца і рыбасома распадаецца на дзве субадзінкі.

Усе апісаныя рэакцыі адбываюцца вельмі хутка. Падлічана, што сінтэз вялікай малекулы бялку ажыццяўляецца прыблізна за 1—2 мін. Кожны этап біясінтэзу бялку каталізуецца адпаведнымі ферментамі і забяспечваецца энергіяй за кошт расшчаплення АТФ.



Мал. 67. Схема будовы тРНК

Малекула іРНК можа звязвацца адначасова з некалькімі рыбасомамі. Комплекс з іРНК і рыбасом (ад 5—6 да некалькіх дзясяткаў) называецца палісомай. Утварэнне палісом павышае эфектыўнасць функцыянавання іРНК, паколькі дазваляе адначасова ажыццяўляць сінтэз некалькіх аднолькавых малекул бялку.

Калі сінтэз бялку адбываецца на рыбасомах, звязаных з шурпатаватай ЭПС, то ўтвораны поліпептыдны ланцуг спачатку аказваецца ўнутры поласці эндаплазматычнай сеткі, а затым транспартуецца ў комплекс Гольджы. У гэтых арганоідах адбываецца выспяванне бялку — фарміраванне другаснай, трацічнай і чацвярцічнай структуры, далучэнне да бялковай малекулы небялковых кампанентаў і інш. Калі сінтэз бялку ажыццяўляўся на свабодных рыбасомах, размешчаных у гіялаплазме, то сінтэзаваная бялковая малекула транспартуецца ў патрэбную частку клеткі, дзе і набывае адпаведную структуру.

Такім чынам, генетычная інфармацыя, якая змяшчаецца ў ДНК, у выніку працэсаў транскрыпцыі і трансляцыі рэалізуецца ў клетцы ў выглядзе малекул бялкоў. Сінтэз бялку забяспечваецца ўзаемадзеяннем усіх тыпаў РНК: рРНК з'яўляецца галоўным структурным кампанентам рыбасом, іРНК — носьбіт інфармацыі аб першаснай структуры бялку, тРНК дастаўляюць на рыбасому амінакіслоты, а таксама забяспечваюць іх правільнае ўключэнне ў поліпептыдны ланцуг.

Біясінтэз РНК (транскрыпцыя) і біясінтэз бялку (трансляцыя) ажыццяўляецца з выкарыстаннем матрыц — ДНК і іРНК адпаведна. Таму, так як і рэплікацыя, працэсы транскрыпцыі і трансляцыі з'яўляюцца **рэакцыямі матрычнага сінтэзу**.

? **1.** Якія працэсы адносяцца да рэакцый матрычнага сінтэзу?

Браджэнне, трансляцыя, транскрыпцыя, фотасінтэз, рэплікацыя.

2. Што такое транскрыпцыя? Як адбываецца гэты працэс?

3. Які працэс называецца трансляцыяй? Ахарактарызуйце асноўныя этапы трансляцыі.

4. Чаму пры трансляцыі ў састаў бялку ўключаюцца не любыя амінакіслоты ў выпадковым парадку, а толькі тыя, якія закадзіраваны трыплетамі іРНК, прычым у строгай адпаведнасці з паслядоўнасцю гэтых трыплетаў? Як вы думаеце, колькі відаў тРНК удзельнічае ў сінтэзе бялкоў у клетцы?

5. Рэакцыі матрычнага сінтэзу неабходна адносіць да працэсаў асіміляцыі ці дысіміляцыі? Чаму?

6. Участак транскрыбіруемага ланцуга ДНК мае наступны парадак нуклеатыдаў: ТАЦТГГАЦАТАТТАЦААГАЦТ. Вызначыце паслядоўнасць амінакіслотных астаткаў пептыду, закадзіраванага гэтым участкам.

7. Даследаванні паказалі, што ў малекуле іРНК 34 % ад агульнай колькасці азоцістых асноў прыходзіцца на гуанін, 18 % — на ўрацыл, 28 % — на цытазін і 20 % — на адэнін. Вызначыце працэнтны састаў азоцістых асноў двухланцуговага ўчастка ДНК, адзін з ланцугоў якога служыў матрыцай для сінтэзу дадзенай іРНК.

8. У эрытрацытах млекакормячых сінтэз гемаглабіну можа адбывацца яшчэ на працягу некалькіх дзён пасля страты гэтымі клеткамі ядзер. Як вы можаце гэта растлумачыць?

Глава 4 Структурная арганізацыя і рэгуляцыя функцый у жывых арганізмах

§ 30. Структурная арганізацыя жывых арганізмаў

Для арганізмаў, якія насяляюць нашу планету, характэрны розныя формы структурнай арганізацыі. Найбольш часта сустракаюцца наступныя.

1. *Аднаклетачны арганізм.* У такіх арганізмаў усе функцыі жыццядзейнасці выконвае адзіная клетка. Пры размнажэнні аднаклетачны арганізм звычайна дзеліцца напалам, і кожная даччыная клетка ўяўляе сабой новы арганізм. Аднаклетачнымі арганізмамі з'яўляюцца большасць *бактэрый*, многія *пратысты* (*інфузорыя туфелька, амёба, хларэла*, *эўглена зялёная* і інш.).

2. *Сіфонавая арганізацыя.* Цела некаторых арганізмаў уяўляе сабой адну гіганцкую мнагаядзерную, часта разгалінаваную клетку. Такая структурная арганізацыя называецца с і ф о н а в а й. Яна характэрна для некаторых *грыбоў* (напрыклад, *мукора*) і некаторых *водарасцей* (напрыклад, *каўлерпы*). На малюнку 68 вы бачыце, што ў каўлерпы цела раздзелена на часткі, якія нагадваюць лісты і карэнне.

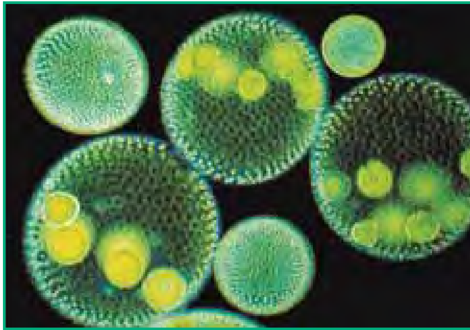
3. *Каланіяльная форма.* Сярод *водарасцей* часта сустракаюцца каланіяльныя формы ў выглядзе збору асобных клетак, аб'яднаных слізю ў адно цэлае. Форма такіх калоній, іх памеры і колькасць слізі ў розных водарасцей могуць істотна адрозніваცца. У адрозненне ад мнагаклетачных арганізмаў каланіяльныя формы складаюцца са слаба дыферэнцыраваных і адносна самастойных клетак. На асобныя раздражняльнікі ў такіх арганізмаў часта рэагуюць асобныя клеткі, а не ўся калонія ў цэлым. У большасці выпадкаў клеткі, штучна ўзятыя з калоніі, не гінуць, а пачынаюць актыўна дзяліцца і такім чынам фарміруюць новыя калоніі.

Толькі ў нямногіх каланіяльных водарасцей назіраецца спецыялізацыя клетак. Напрыклад, у *вальвокса* большасць клетак калоніі — в е г е т а т ы ў н ы я, яны дробныя і не прымаюць удзел у працэсе размнажэння. Паміж імі раскіданы больш буйныя — г е н е р а т ы ў н ы я клеткі, якія забяспечваюць размнажэнне вальвокса.

Мал. 68. Сіфонавая водарасць каўлерпа

Вальвокс уяўляе сабой полы шар дыяметрам каля 1 мм, што складаецца з паўвадкага студзяністага рэчыва, у якое пагружаны клет-

кі (мал. 69). Кожная з іх мае два жгуцікі. Клеткі знаходзяцца каля самай паверхні студяністага рэчыва, так што жгуцікі выступаюць наверх. Суседнія клеткі калоніі злучаны паміж сабой цытаплазматычнымі мосцікамі, што дае ім магчымасць каардынаваць свае рэакцыі. Дзякуючы зладжанай рабоце жгуцікаў вальвокс перакочваецца ў вадзе («вальвокс» азначае «такі, што коціцца»).



Мал. 69. Вальвокс

Каланіяльныя арганізмы тыпу вальвокса разглядаюцца як пераходная форма ад аднаклетачных арганізмаў да мнагаклетачных. Каланіяльныя формы сустракаюцца не толькі сярод водарасцей, але і ў іншых групах жывых арганізмаў.

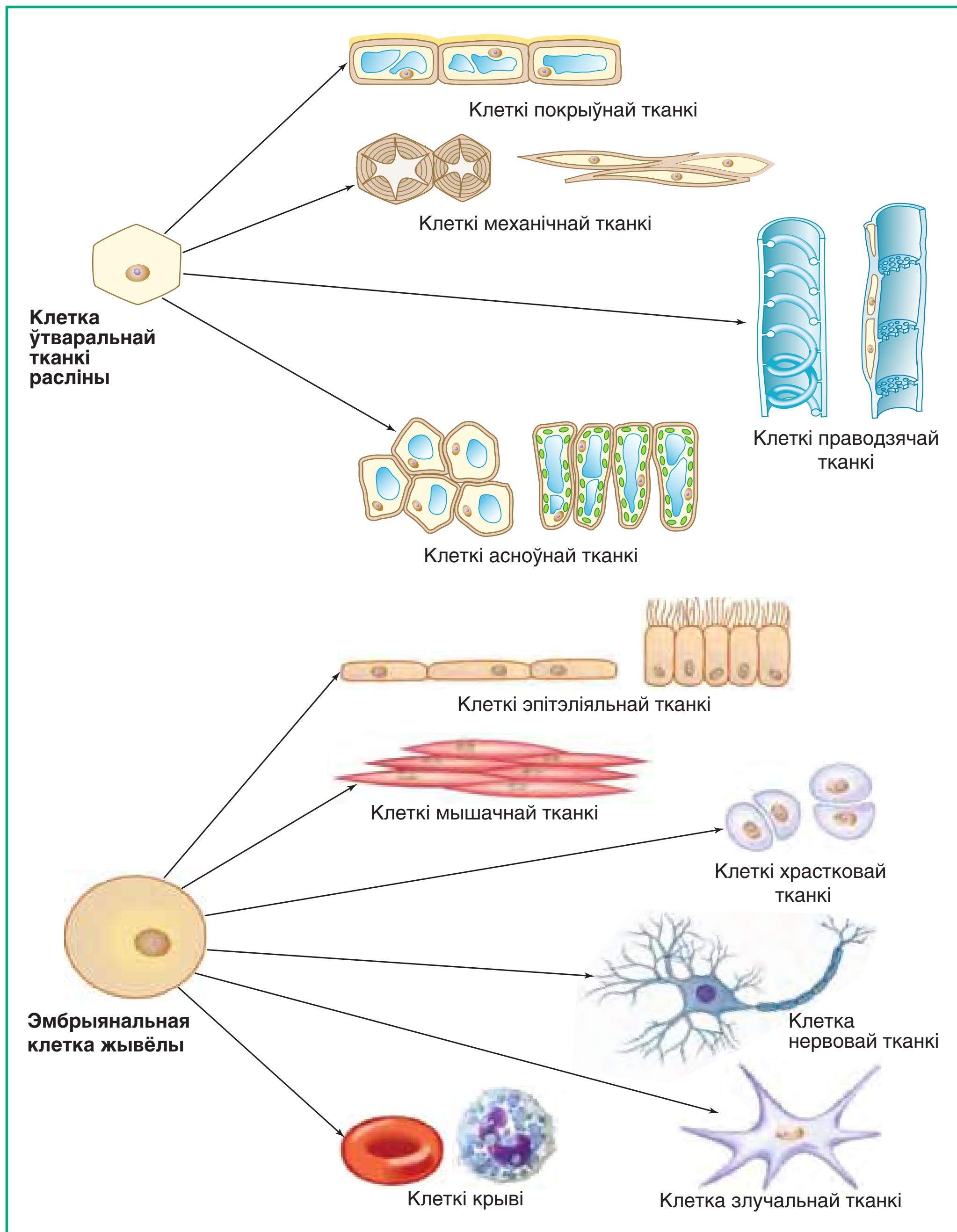
4. *Мнагаклетачны арганізм.* Цела мнагаклетачных арганізмаў складаецца з вялікай колькасці клетак. Клеткі мнагаклетачнага арганізма маюць аднолькавы набор храмасом і генаў, але пры гэтым адрозніваюцца па форме, памерах, размяшчэнні ў арганізме, функцыях. Розныя тыпы клетак утвараюцца шляхам **клетачнай дыферэнцыяцыі** — набыцця клеткамі індывідуальных спецыфічных адрозненняў у працэсе развіцця (мал. 70). З павышэннем узроўню складанасці арганізма колькасць розных тыпаў клетак у ім павялічваецца. Дзякуючы спецыялізацыі клетак узрастаюць функцыянальныя здольнасці арганізмаў. Мнагаклетачнымі з'яўляюцца многія *водарасці* і *грыбы*, а таксама ўсе *расліны* і *жывёлы*.

Дыферэнцыяцыя клетак прыводзіць да фарміравання ў *раслін* і *жывёл* (акрамя *губак* і *кішачнапаласцевых*) тканак і органаў. **Тканка** — гэта сістэма міжклетачнага рэчыва і клетак, падобных па будове, паходжанні і выкананні аднолькавых функцый. Адрозніваюць простыя тканкі, якія складаюцца з клетак аднаго тыпу, і складаныя, якія ўключаюць некалькі тыпаў клетак. Напрыклад, эпідэрміс у *раслін* складаецца з уласна покрыўных клетак, а таксама замыкальных і пабочных клетак, якія ўтвараюць вусцейкавыя апараты.

З тканак фарміруюцца **органы**. У састаў органа ўваходзіць некалькі тыпаў тканак, звязаных структурна і функцыянальна, але звычайна адзін з іх пераважае. Напрыклад, сэрца ўтворана ў асноўным мышачнай, а галаўны мозг — нервовай тканкай. У састаў ліставой пласцінкі расліны ўваходзяць покрыўная тканка (эпідэрміс), асноўная тканка (хларафіланосная парэнхіма), праводзячыя тканкі (ксілема і флаэма) і інш. Аднак пераважае ў лісце асноўная тканка.

Органы, якія выконваюць агульныя функцыі, утвараюць **сістэмы органаў**.

Тканкі, органы і сістэмы органаў раслін і жывёл. У *раслін* выдзяляюць утваральныя, покрыўныя, механічныя, праводзячыя і асноўныя тканкі.



Мал. 70. Схема дыферэнцыяцыі клетак раслін і жывёл

Клеткі **ўтваральных тканак** (м е р ы с т э м) на працягу доўгага часу захоўваюць здольнасць да дзялення. Дзякуючы гэтаму яны прымаюць удзел ва ўтварэнні ўсіх астатніх тыпаў тканак і забяспечваюць рост расліны. Верхавінкавыя мерыстэмы знаходзяцца на кончыках пабегаў і каранёў, а бакавыя (напрыклад, к а м б і й і п е р ы ц ы к л) — унутры гэтых органаў.

Покрыўныя тканкі размешчаны на мяжы з вонкавым асяроддзем, г. зн. на паверхні каранёў, сцёблаў, лістоў і іншых органаў. Яны ахоўваюць унутраныя структуры расліны ад пашкоджанняў, уздзеяння нізкіх і высокіх тэмператур, лішняга выпарвання і высушвання, пранікнення хваробатворных арганізмаў і г. д. Акрамя таго, покрыўныя тканкі рэгулююць газаабмен і выпарванне вады. Да покрыўных тканак адносяцца э п і д э р м і с, п е р ы д э р м а і к о р к а.

Механічныя тканкі (к а л е н х і м а і с к л е р э н х і м а) выконваюць апорную і ахоўную функцыі, надаючы органам трываласць і ўтвараючы «унутраны шкілет» расліны.

Праводзячыя тканкі забяспечваюць у арганізме расліны перамяшчэнне вады і раствораных у ёй рэчываў. К с і л е м а дастаўляе ваду з растворанымі мінеральнымі рэчывамі ад каранёў да ўсіх органаў расліны. Ф л а э м а ажыццяўляе транспарт раствораў арганічных рэчываў. Ксілема і флаэма звычайна размешчаны побач і ўтвараюць п р а в о д з я ч ы я п у ч к і. У лістах іх можна лёгка заўважыць у выглядзе жылак.

Асноўныя тканкі, або п а р э н х і м а, складаюць асноўную частку цела расліны. У залежнасці ад размяшчэння ў арганізме расліны і асаблівасцей асяроддзя яго пражывання асноўныя тканкі здольны выконваць розныя функцыі — ажыццяўляць фотасінтэз, назапашваць пажыўныя рэчывы, ваду або паветра. У сувязі з гэтым адрозніваюць х л а р а ф і л а н о с н у ю, з а п а с а л ь н у ю, в а д а н о с н у ю і п а в е т р а н о с н у ю парэнхіму.

Як вы памятаеце з курса біялогіі 7-га класа, у раслін выдзяляюць вегетатыўныя і генератыўныя органы. Вегетатыўнымі органамі з'яўляюцца корань і парастак (сцябло з лістамі і пупышкамі). Генератыўныя органы падраздзяляюцца на органы бясполага і палавога размнажэння.

Органы бясполага размнажэння раслін называюцца с п а р а н г і я м і. Яны размяшчаюцца паасобна або аб'ядноўваюцца ў складаныя структуры (напрыклад, сорусы ў *папараці*, спараносныя каласкі ў *хвашчоў* і *дзеразы*).

Органы палавога размнажэння забяспечваюць утварэнне гамет. Мужчынскія (а н т э р ы д ы і) і жаночыя (а р х е г о н і і) органы палавога размнажэння развіваюцца ў *імхоў, хвашчоў, дзеразы* і *папараці*. Для *голанасенных* раслін характэрны толькі архегоніі, якія развіваюцца ўнутры семязачатка. Антэрыдыі ў іх не фарміруюцца, і мужчынскія палавыя клеткі — сперміі — утвараюцца з генератыўнай клеткі пылковага зерня. У *кветкавых* раслін адсутні-

чаюць як антэрыдыі, так і архегоніі. Генератыўным органам у іх з'яўляецца кветка, у якой адбываецца ўтварэнне спор і гамет, апладненне, фарміраванне пладоў і насення.

У *жывёл* таксама выдзяляюць некалькі тыпаў тканак. **Эпітэліяльныя тканкі** пакрываюць арганізм звонку, высцілаюць поласці цела і сценкі полых органаў, уваходзяць у састаў большасці залоз. Эпітэліяльная тканка складаецца з клетак, якія шчыльна прылягаюць адна да другой, міжклетачнае рэчыва не развіта. Галоўныя функцыі эпітэліяльных тканак — ахоўная і сакраторная.

Тканкі ўнутранага асяроддзя характарызуюцца добра развітым міжклетачным рэчывам, у якім паасобна або групамі размяшчаюцца клеткі. Міжклетачнае рэчыва, як правіла, утрымлівае вялікую колькасць валокан. Тканкі ўнутранага асяроддзя — самая разнастайная па будове і функцыях група тканак жывёл. Сюды адносяцца касцявая, храстковая і тлушчавая тканкі, уласна злучальныя тканкі (шчыльная і рыхлая валакністыя), а таксама кроў, лімфа і інш. Асноўныя функцыі тканак унутранага асяроддзя — апорная, ахоўная, трафічная.

Мышачныя тканкі характарызуюцца наяўнасцю скарачальных элементаў — міяфібрыл, размешчаных у цытаплазме клетак і забяспечваючых скарачальнасць. Мышачныя тканкі выконваюць рухальную функцыю.

Нервовая тканка складаецца з нервовых клетак (нейронаў) і клетак гліі. Нейроны здольны ўзбуджацца ў адказ на дзеянне розных фактараў, генерыраваць і праводзіць нервовыя імпульсы. Гліяльныя клеткі забяспечваюць жыўленне і ахову нейронаў, фарміраванне іх абалонак.

Тканкі жывёл удзельнічаюць у фарміраванні органаў, якія, у сваю чаргу, аб'ядноўваюцца ў сістэмы органаў. У арганізме *пазванковых* жывёл і *чалавека* адрозніваюць наступныя сістэмы органаў: касцявую, мышачную, стрававальную, дыхальную, мочавыдзяляльную, палавую, крывяносную, лімфатычную, імунную, эндакрынную і нервовую. Акрамя таго, у жывёл ёсць розныя сенсорныя сістэмы (зрокавая, слыхавая, нюхальная, смакавая, вестыбулярная і інш.), з дапамогай якіх арганізм успрымае і аналізуе разнастайныя раздражняльнікі знешняга і ўнутранага асяроддзя.

Мнагаклетачны арганізм — цэласная інтэграваная сістэма. Любому жывому арганізму ўласціва атрыманне з навакольнага асяроддзя будаўнічага і энергетычнага матэрыялу, абмен рэчываў і ператварэнне энергіі, рост, развіццё, здольнасць да размнажэння і г. д. У мнагаклетачных арганізмаў разнастайныя працэсы жыццядзейнасці (жыўленне, дыханне, выдзяленне і інш.) рэалізуюцца дзякуючы ўзаемадзеянню пэўных тканак і органаў. Пры гэтым усе працэсы жыццядзейнасці праходзяць пад кантролем рэгулятарных сістэм. Дзякуючы гэтаму складаны мнагаклетачны арганізм функцыянуе як адзінае цэлае.

У *жывёл* да рэгулятарных сістэм адносяцца нервовая і эндакрынная. Яны забяспечваюць зладжаную работу клетак, тканак, органаў і іх сістэм, абумоўліваюць цэласныя рэакцыі арганізма на змяненні ўмоў знешняга і ўнутранага асяроддзя, накіраваныя на падтрыманне гамеастазу. У *раслін* жыццёвыя функцыі рэгулююцца з дапамогай розных біялагічна актыўных рэчываў (напрыклад, фітагармонаў).

Такім чынам, у мнагаклетачным арганізме ўсе клеткі, тканкі, органы і сістэмы органаў узаемадзейнічаюць адзін з другім, зладжана функцыянуюць, дзякуючы чаму арганізм уяўляе сабой цэласную біялагічную сістэму.

?

1. Выберыце са спіска тканкі: а) раслін; б) жывёл.

Праводзячыя, эпітэліяльныя, мышачныя, покрыўныя, механічныя, утваральныя, асноўныя, тканкі ўнутранага асяроддзя, нервовая тканка.

2. Якія формы структурнай арганізацыі ўласцівы жывым арганізмам?

3. У чым заключаецца галоўнае адрозненне каланіяльных форм ад мнагаклетачных? Чаму каланіяльныя арганізмы тыпу вальвокса лічацца пераходнымі формамі ад аднаклетачных арганізмаў да мнагаклетачных?

4. Як вы думаеце, чаму тканкі ўзніклі ў наземных раслін, а не ў водарасцей, ад якіх паходзяць расліны?

5. Як вы разумееце выраз: «Мнагаклетачны арганізм — цэласная інтэграваная сістэма»?

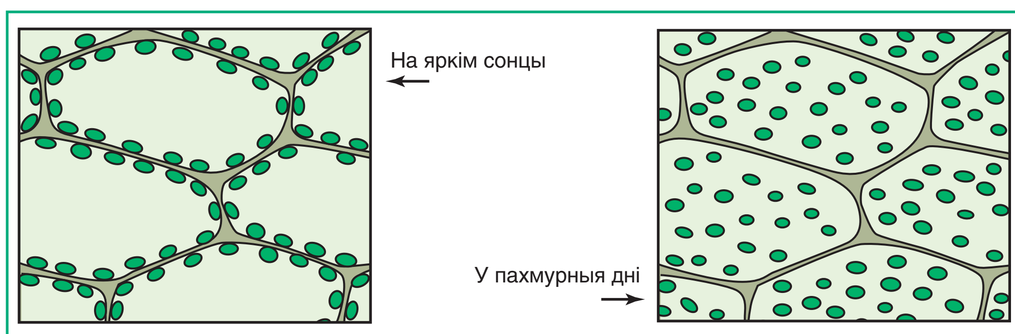
6. Прывядзіце прыклады ўзаемасувязі тканак і органаў у працэсе выканання раслінным або жывёльным арганізмам якіх-небудзь функцый.

7. Клеткі аднаго і таго ж мнагаклетачнага арганізма могуць істотна адрознівацца па форме, асаблівасцях будовы і хімічным саставе, выконваемых функцыях (напрыклад, нейроны, лейкацыты, клеткі эпідэрмісу скуры і інш.), аднак у ядрах гэтых клетак утрымліваецца аднолькавая спадчынная інфармацыя. Чым можна растлумачыць дадзеную супярэчнасць?

§ 31. Рэгуляцыя жыццёвых функцый арганізма

Паняцце аб самарэгуляцыі. Самарэгуляцыя — гэта здольнасць жывых арганізмаў падтрымліваць пастаянства сваёй структуры, хімічнага саставу і інтэнсіўнасці фізіялагічных працэсаў. Сігналам для ўключэння таго або іншага механізма самарэгуляцыі можа быць змяненне канцэнтрацыі якога-небудзь рэчыва або стану якой-небудзь сістэмы, пранікненне ва ўнутранае асяроддзе арганізма чужароднага рэчыва і г. д.

Напрыклад, хларапласты пад уздзеяннем святла здольны да перамяшчэння ў клетках з токам гіялаплазмы. У яркі сонечны дзень хларапласты размяшчаюцца ўздоўж клетачнай абалонкі, як бы стараючыся пазбегнуць моцнага ўздзеяння



Мал. 71. Перамяшчэнне хларапластаў у клетцы пад уздзеяннем сонечнага святла

святла. А ў пахмурныя або воблачныя дні яны раўнамерна размяркоўваюцца па ўсёй цытаплазме клеткі, каб паглынаць больш сонечнага святла (мал. 71). Пераход хларапластаў з аднаго становішча ў другое пад уздзеяннем святла адбываецца дзякуючы механізмам клетачнай рэгуляцыі.

Рэгуляцыя функцый у раслін. Працэсы жыццядзейнасці расліннага арганізма, як ужо адзначалася, рэгулююцца з дапамогай біялагічна актыўных рэчываў. Вядучая роля ў рэгуляцыі працэсаў дзялення, росту і дыферэнцыроўкі клетак раслін належыць **фітагармонам**. Нават у нязначнай колькасці яны могуць паскараць або запавольваць розныя жыццёвыя функцыі раслін: фарміраванне каранёў, развіццё пупышак, рост парасткаў, цвіценне, выспяванне пладоў, ападанне лісця, прарастанне насення і інш. Фітагармоны ўтвараюцца пэўнымі клеткамі і транспартуюцца да месца дзеяння па праводзячых тканках або непасрэдна ад адной клеткі да другой.

Расліны, як і іншыя жывыя арганізмы, здольны ўспрымаць змяненні ў навакольным асяроддзі і пэўным чынам рэагаваць на іх. У выніку ўздзеяння некаторых раздражняльнікаў можа назірацца з'яўленне выгінаў парасткаў і каранёў, змяненне становішча лістоў і іншых органаў. Такія рэакцыі атрымалі назву трапізмаў і настый.

Трапізмы (ад грэч. *тропас* — паварот, змяненне напрамку) — гэта роставыя рухі органаў раслін у адказ на раздражняльнік, які мае пэўную накіраванасць. Гэтыя рухі могуць ажыццяўляцца як да раздражняльніка, так і ў процілеглы бок. Яны з'яўляюцца вынікам нераўнамернага дзялення клетак на розных баках органаў у адказ на дзеянне фітагармонаў.

Настыі (ад грэч. *настас* — ушчыльнены) — гэта рухі органаў раслін у адказ на дзеянне раздражняльніка, які не мае пэўнага напрамку (напрыклад, змяненне асветленасці, тэмпературы). Прыкладам настый можа служыць раскрыванне і закрыванне венчыкаў кветак у залежнасці ад асвятлення, складванне лістоў пры змяненні тэмпературы. Настыі могуць быць абумоўлены расцяжэннем органаў у выніку іх нераўнамернага росту або змяненнем тургорнага ціску ў пэўных групах клетак.

Рэгуляцыя жыццёвых функцый арганізма жывёл. Жыццёвыя функцыі арганізма жывёлы ў цэлым, а таксама яго асобных органаў і сістэм, зладжанасць іх дзейнасці, падтрыманне пэўнага фізіялагічнага стану і гамеастазу рэгулююцца нервовай і эндакрыннай сістэмамі.

Нервовая сістэма рэгулюе жыццёвыя функцыі арганізма з дапамогай нервовых імпульсаў, якія маюць электрычную прыроду. Нервовыя імпульсы перадаюцца ад рэцэптараў да пэўных цэнтраў нервовай сістэмы, дзе ажыццяўляецца іх аналіз і фарміраванне адпаведных «каманд» рабочым органам. Імпульсы з нервовых цэнтраў накіроўваюцца да рабочых органаў, мяняючы іх дзейнасць.

Нервовая сістэма хутка ўспрымае змяненні, якія адбываюцца ў знешнім і ўнутраным асяроддзі арганізма, і хутка на іх рэагуе. Успомнім, што адказныя рэакцыі арганізма на раздражняльнікі знешняга або ўнутранага асяроддзя, якія адбываюцца пры ўдзеле нервовай сістэмы, называюць рэфлексамі (ад лац. *рэфлексус* — адлюстраваны). Такім чынам, для нервовай сістэмы характэрны рэфлекторны прынцып работы. У аснове складанай работы нервовых цэнтраў ляжаць працэсы ўзнікнення нервовага ўзбуджэння і яго тармажэння. Менавіта на гэтых працэсах заснавана нервовая дзейнасць чалавека і жывёл, якая забяспечвае адаптацыю арганізма да змяненняў у навакольным асяроддзі.

Гумаральная рэгуляцыя (ад лац. *гумар* — вадкасць) — адзін з механізмаў каардынацыі працэсаў жыццядзейнасці ў арганізме, ажыццяўляемы праз вадкія асяроддзі арганізма (кроў, лімфу, тканкавую вадкасць) з дапамогай біялагічна актыўных рэчываў, выдзяляемых клеткамі, тканкамі і органамі. Вядучая роля ў гумаральнай рэгуляцыі працэсаў жыццядзейнасці належыць эндакрыннай сістэме. Эндакрынныя залозы жывёл і чалавека (залозы ўнутранай сакрэцыі) выпрацоўваюць гармоны, якія з токам крыві, лімфы або паласной вадкасці распаўсюджваюцца па арганізме і аказваюць уздзеянне на адпаведныя органы-мішэні. Здольнасцю сакратаваць гармоны таксама валодаюць залозы змешанай сакрэцыі і некаторыя іншыя органы жывёл.

Эндакрынныя залозы ў большасці выпадкаў не звязаны прасторава, іх работа ўзгадняецца дзякуючы нервовай рэгуляцыі або з дапамогай гармонаў. Пры гэтым гармоны, якія выпрацоўваюцца аднымі залозамі, уплываюць на работу іншых залоз. Акрамя таго, гармоны ўплываюць на дзейнасць нервовай сістэмы.

Гумаральная рэгуляцыя можа ажыццяўляцца і з дапамогай іншых біялагічна актыўных рэчываў. Напрыклад, змяненне канцэнтрацыі вуглякіслага газу ў крыві ўплывае на дзейнасць дыхальнага цэнтра галаўнога мозга наземных пазванковых, а змяненне канцэнтрацыі іонаў кальцыю і калію — на работу іх сэрца.

Параўнальная характарыстыка нервовай і гумаральнай рэгуляцыі прыведзена ў табліцы 4.

Табліца 4. **Асаблівасці нервовай і гумаральнай рэгуляцыі**

Нервовая рэгуляцыя	Гумаральная рэгуляцыя
Ажыццяўляецца з дапамогай нервовых імпульсаў, якія ўзнікаюць у нейронах	Ажыццяўляецца з дапамогай гармонаў і іншых біялагічна актыўных рэчываў
Сігналы (нервовыя імпульсы) маюць электрычную прыроду і распаўсюджваюцца па нервовых валокнах	Сігналы (біялагічна актыўныя рэчывы) маюць хімічную прыроду, распаўсюджваюцца вадкімі асяроддзямі арганізма
Высокая скорасць перадачы сігналаў (напрыклад, у чалавека — да 120 м/с)	Параўнальна павольная перадача сігналаў (напрыклад, у чалавека — да 0,5 м/с)
Нервовыя імпульсы накіроўваюцца на канкрэтны орган або групу органаў	Біялагічна актыўныя рэчывы дзейнічаюць на адчувальныя да іх клеткі-мішэні ва ўсіх органах, у якіх такія клеткі ёсць
Забяспечвае дакладны і хуткі адказ арганізма на дзеянне раздражняльнікаў у выглядзе рухальнай актыўнасці, розных паводзінскіх рэакцый	Кантралюе працэсы, якія доўга працякаюць у арганізме: рост, развіццё, абмен рэчываў і інш. У пэўных сітуацыях пераводзіць у актываваны стан адразу некалькі сістэм арганізма

Гумаральная рэгуляцыя падпарадкавана нервовай, у той жа час абодва механізмы рэгуляцыі (нервовы і гумаральны) працуюць зладжана, у цесным узаемадзеянні. Разам яны складаюць адзіную сістэму **нейрагумаральнай рэгуляцыі**, якая забяспечвае падтрыманне гамеастазу ў арганізме.

Напрыклад, у чалавека пасля прыёму ежы адбываецца павышэнне канцэнтрацыі глюкозы ў крыві, што выклікае ўзбуджэнне адпаведных рэцэптараў, якія перадаюць імпульсы ў цэнтральную нервовую сістэму. Нервовая сістэма стымулюе сакрэцыю гармона і н с у л і н у клеткамі падстраўнікавай залозы. Інсулін, у сваю чаргу, стымулюе паступленне глюкозы ў клеткі арганізма, а таксама садзейнічае яе ператварэнню ў запасны вуглявод — глікаген. Дзякуючы гэтаму ўтрыманне глюкозы ў крыві зніжаецца да нармальнага ўзроўню.

І наадварот, пры фізічнай нагрузцы глюкоза актыўна спажываецца клеткамі ў якасці крыніцы энергіі, таму яе ўтрыманне ў крыві памяншаецца. Нервовая сістэма пасылае імпульсы ў мазгавое рэчыва наднырачнікаў. Гэтыя залозы выдзяляюць у кроў гармон а д р э н а л і н. Пад уздзеяннем адрэналіну адбываецца расшчапленне глікагену да глюкозы, і яе канцэнтрацыя ў крыві павялічваецца.

Такім чынам, у выніку сумеснага дзеяння нервовых і гумаральных механізмаў рэгуляцыі ў арганізме падтрымліваецца адносна пастаянны ўзровень глюкозы ў крыві.

? **1.** Якім чынам ажыццяўляецца рэгуляцыя працэсаў жыццядзейнасці ў жывёл? У раслін?

а) Толькі дзякуючы гумаральнай рэгуляцыі;
б) толькі дзякуючы нервовай рэгуляцыі;
в) за кошт зладжанай работы гумаральных і нервовых механізмаў рэгуляцыі.

2. Як ажыццяўляецца рэгуляцыя жыццёвых функцый у раслін?

3. Успомніце, што такое гамеастаз. Якія механізмы яго падтрымання вам вядомы?

4. Якая сувязь існуе паміж нервовай і эндакрыннай сістэмамі?

5. Што агульнага ў працэсах нервовай і гумаральнай рэгуляцыі? Чым яны адрозніваюцца?

6. Якім чынам можа рэгулявацца ўтрыманне глюкозы ў крыві чалавека?

7. Некаторыя недобрасумленныя спартсмены, а таксама і людзі, далёкія ад прафесійнага спорту, прымаюць асобыя прэпараты — анабалічныя стэроіды. Амаль усе яны з'яўляюцца сінтэтычнымі вытворнымі гармону тэстастэрону. Анабалічныя стэроіды паскараюць рост мышцаў, памяншаюць тлуставую праслойку, павышаюць узровень гемаглабіну. Аднак, нягледзячы на ўсе плюсы, гэтыя рэчывы на арганізм чалавека дзейнічаюць разбуральна. У жанчын, якія прымаюць анабалічныя стэроіды, назіраецца ўзмацненне росту валасоў на целе, агрубленне голасу, памяншэнне малочных залоз, парушэнні менструальнага цыклу і інш. У мужчын адбываецца разрастанне малочных залоз, назіраецца атрафія яек, зніжэнне палавой патэнцыі, бясплоддзе і г. д. Чаму дадзеныя стэроіды названы «анабалічнымі»? Як вы думаеце, якія прычыны змяненняў, што адбываюцца пры іх прыёме ў арганізме жанчын? Мужчын?

§ 32. Агульная неспецыфічная ахова арганізма

Паняцце аб імуннай ахове арганізма. Жывыя арганізмы могуць існаваць толькі пры ўмове пастаянства іх унутранага асяроддзя. У той жа час вакол існуе мноства «ворагаў», якія пастаянна імкнуцца пранікнуць унутр арганізма, парушыць яго цэласнасць. У іх ліку — хваробатворныя агенты (*вірусы, бактэрыі, пратысты,* мікраскапічныя *грыбы*), а таксама больш буйныя паразіты (напрыклад, *гельмінты*). Акрамя таго, арганізм павінен абараняцца ад агрэсіўнага пранікнення ва ўнутранае асяроддзе праз бар'ерныя тканкі (скуру, слізістыя абалонкі страўнікава-кішэчнага тракта, дыхальнай і выдзяляльнай сістэм) розных чужародных рэчываў з навакольнага асяроддзя. Нават уласныя клеткі могуць уяўляць пагрозу для арганізма, напрыклад клеткі, заражаныя вірусамі, а таксама злаякасныя (пухлінныя) і пашкоджаныя клеткі.

Існаванне і жыццядзейнасць арганізма як цэласнай сістэмы забяспечвае імунітэт. Як вы ўжо ведаеце з курса біялогіі 9-га класа, **імунітэт** — гэта здольнасць арганізма супрацьстаяць умяшанню чужародных рэчываў і інфекцыйных агентаў (антыгенаў), а таксама захоўваць пастаянства ўнутранага асяроддзя і сваю біялагічную індывідуальнасць.

Паняцце «імунітэт» з'явілася ў XIX ст. дзякуючы працам Л у і П а с т э р а і І. І. М е ч н і к а в а. Яны залажылі асновы імуналогіі — навукі аб ахоўных рэакцыях арганізма, аб імунітэце.

У 1880 г. французскі вучоны Л. Пастэр правёў вопыты з узбуджальнікам курынай халеры і пераканаўся ў тым, што прывіўка птушкам аслабленых або забітых бактэрый ахоўвала іх у далейшым ад жывога ўзбуджальніка. Л. Пастэр палічыў, што аслабленыя ўзбуджальнікі хваробы, уведзеныя ў арганізм, выклікаюць у ім развіццё неўспрымальнасці да дадзенага захворвання. Менавіта гэта назіранне дало назву з'яве імунітэту (ад лац. *імунітас* — неўспрымальнасць).

Вялікі ўклад у станаўленне імуналогіі ўнеслі лаўрэаты Нобелеўскай прэміі (1908) І. І. Мечнікаў, які абгрунтаваў значэнне фагацытуючых клетак у ахоўных рэакцыях, і П. Э р л і х , які даказаў важнейшую ролю антыцел у фарміраванні імунітэту.

У працэсе эвалюцыі развілася мноства механізмаў, якія ахоўваюць арганізмы ад пранікнення ў іх унутранае асяроддзе чужародных агентаў. Усе гэтыя механізмы можна раздзяліць на дзве групы: неспецыфічны (прыроджаны) і спецыфічны (набыты) імунітэт.

Н е с п е ц ы ф і ч н ы імунітэт забяспечваецца функцыянаваннем прыродных механічных бар'ераў (скуры, слізістых абалонак), якія перашкаджаюць пранікненню антыгенаў у арганізм, некаторых клетак (напрыклад, фагацытаў) і шэрагам фізіялагічных фактараў. Да прыроджанага імунітэту адносяцца такія ахоўныя рэакцыі, як чыханне, кашаль, рвота, панос, павышэнне тэмпературы цела і інш. Неспецыфічную ахову арганізма забяспечваюць і некаторыя рэчывы, якія звязваюць ці пашкоджваюць мікраарганізмы (лізацім, бялкі сістэмы камплементу) або ўтвараюць супрацьвірусную ахову (інтэрфероны).

С п е ц ы ф і ч н ы я механізмы імунітэту забяспечваюцца імуннай сістэмай, якая распазнае і абясшкоджвае антыгены.

Агульная (неспецыфічная) ахова арганізма. Разгледзім больш падрабязна некаторыя механізмы прыроджанага імунітэту.

Скураныя покрывы. Знешні слой скуры — э п і д э р м і с — прадстаўлены мнагаслойным плоскім эпітэліем. Жывыя клеткі ростковага слоя эпідэрмісу інтэнсіўна дзеляцца і прасоўваюцца да паверхневых слаёў, дзе арагавяваюць, адміраюць і злушчваюцца. Разам са злушчанымі арагавелымі клеткамі з паверхні эпідэрмісу механічна выдаляюцца трапіўшыя на яго мікраарганізмы і прадукты іх жыццядзейнасці.

Потавая вадкасць, якая выпрацоўваецца п о т а в ы м і з а л о з а м і дэрмы і выдзяляецца на паверхню эпідэрмісу, акрамя тэрмарэгулюючай функцыі, выконвае і ахоўную. Дзякуючы наяўнасці ў яе саставе нізкамалекулярных арганічных кіслот pH потавай вадкасці складае 5,5. Такое кіслае асяроддзе стварае неспрыяльныя ўмовы для рассялення на скуры бактэрый і грыбкоў.

У сакрэце с а л ь н ы х з а л о з дэрмы таксама ўтрымліваюцца неспрыяльна дзейнічаючыя на мікраарганізмы арганічныя рэчывы. Акрамя таго, тлустaвы сакрэт ахоўвае скуру ад высушвання і растрэсквання.

На паверхні скуры пастаянна знаходзяцца прадстаўнікі н а р м а л ь н а й с к у р а н о й м і к р а ф л о р ы, якія могуць выступаць у якасці антаганістаў хваробатворных мікраарганізмаў, перашкаджаючы іх укараненню і размнажэнню.

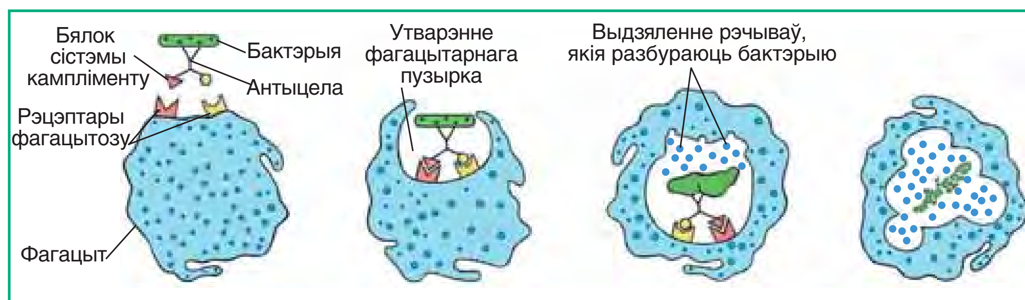
Такім чынам, дзякуючы сумеснаму дзеянню шэрага ахоўных механізмаў здаровая скура ўяўляе сабой сур'ёзную перашкоду для пранікнення патагенных мікраарганізмаў. Участкі скуры, пашкоджаныя ў выніку траўмаў або апёкаў, нярэдка становяцца ўваходнымі варотамі для інфекцыі.

Слізістыя абалонкі стрававальнага тракта, дыхальных шляхоў і іншых органаў таксама перашкаджаюць пранікненню хваробатворных мікраарганізмаў. Бар'ерная і ахоўная функцыі слізістых абалонак абумоўлены выдзяленнем сакрэтаў, якія ўтрымліваюць слізь і шэраг біялагічна актыўных рэчываў, а таксама высокай здольнасцю клетак да рэгенерацыі.

У састаў сакрэтаў большасці слізістых абалонак уваходзіць бактэрыцыдны бялок л і з а ц ы м. Ён утрымліваецца ў сліне, слёзнай вадкасці, выдзяленнях слізістых абалонак кішэчніка, мочаспускальных каналаў, органаў палавой сістэмы пазваночных, а таксама ў плазме крыві, тканкавай вадкасці і інш. Лізацым выклікае гібель бактэрый, аднак ён не актыўны ў адносінах да вірусаў.

Бактэрыцыднымі ўласцівасцямі валодаюць с а л я н а я к і с л а т а і с т р а в а в а л ь н ы я ф е р м е н т ы, выдзяляемыя клеткамі слізістай абалонкі страўніка, а таксама кампаненты ж о ў ц і, якія паступаюць у прасвет тонкага кішэчніка.

Непашкоджаная скура і слізістыя абалонкі, як правіла, надзейна ахоўваюць арганізм ад пранікнення чужародных агентаў. Аднак часам ім удаецца трапіць ва ўнутранае асяроддзе арганізма. У гэтым выпадку на дапамогу прыходзіць **фагацытоз**. Гэта ахоўны механізм, які ажыццяўляецца шляхам захопу і пераразбурэння...



Мал. 72. Схема фагацытозу

паглынаць і715 ператраўліваць мікраарганізмы і іншыя чужародныя аб'екты, а таксама мёртвыя, пашкоджаныя і патагенныя клеткі ўласнага арганізма. Ахоўная функцыя фагацытаў упершыню была адкрыта рускім вучоным І. І. Мечнікавым.

> І. І. Мечнікаў змясціў у цела *дафніі* спору грыба і заўважыў, што на спору нападаюць асобыя рухомыя клеткі. Калі ён уводзіў занадта многа спор, клеткі не маглі іх ператравіць і жывёла гінула. Увядзенне шыпа ружы ў празрыстае цела лічынкі *марской зоркі* прывяло да падобнага выніку — вакол шыпа сабралася мноства «блукаючых» клетак, якія спрабавалі ператравіць іншароднае цела. Свае шматлікія даследаванні І. І. Мечнікаў паклаў у аснову тэорыі фагацытозу, стварэнню якой ён прысвяціў 25 гадоў свайго жыцця.

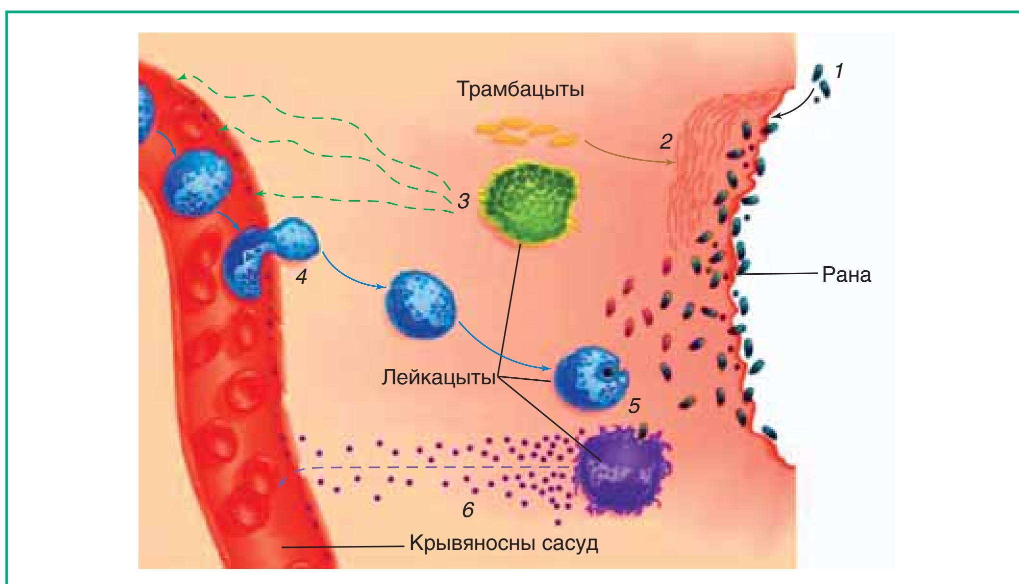
Інтэрфероны — гэта бялкі, якія валодаюць супрацьвіруснымі і супрацьпухліннымі ўласцівасцямі. Яны выпрацоўваюцца лейкацытамі і іншымі тыпамі клетак. Інтэрфероны ўплываюць на працэсы сінтэзу бялкоў і нуклеінавых кіслот, выклікаючы ў клетках такія змяненні, якія перашкаджаюць размнажэнню і распаўсюджванню вірусаў. Як правіла, яны не ратуюць клеткі, ужо пашкоджаныя вірусам, але ахоўваюць ад заражэння суседнія клеткі. Акрамя таго, інтэрфероны падаўляюць размнажэнне ўнутрыклетачных бактэрый і здольны перашкаджаць развіццю злаякасных пухлін.

У састаў **сістэмы камплементу** ўваходзіць каля 20 асобых бялкоў, якія пастаянна прысутнічаюць у крыві. Некаторыя з іх могуць прымацоўвацца да мембраны бактэрыяльных і іншых чужародных клетак. Затым да гэтых бялкоў у пэўным парадку далучаюцца іншыя бялкі сістэмы камплементу. У выніку ўтвараецца комплекс, перфарыруючы (г. зн. такі, які прадзіраўлівае) мембрану, што часта прыводзіць да разбурэння чужароднай клеткі. Акрамя таго, клеткі «пазначаныя» сістэмай камплементу, актыўна знішчаюцца фагацытамі.

У адказ на пашкоджанне клетак і тканак арганізма (напрыклад, у выніку траўмы) або на дзеянне патагеннага раздражняльніка развіваецца мясцовая рэакцыя акружаючых тканак, якая праяўляецца ў пачырваненні, ацёку, хваравітасці і часта — у павышэнні тэмпературы. Такі працэс называецца запаленнем. **Запаленне** — ахоўная рэакцыя арганізма, якая дапамагае справіцца з інфекцыяй і аднавіць нармальную работу пашкоджаных тканак.

Запаленне ўяўляе сабой цэлы комплекс падзей. Напрыклад, у выніку траўмы пад скуру трапіла пэўная колькасць бактэрый. Што пры гэтым адбываецца? Пашкоджаныя клеткі і лейкацыты, якія знаходзяцца ў траўміраваным участку цела, выдзяляюць спецыяльныя рэчывы — гістамін і сератанін. Пад уздзеяннем гэтых рэчываў расшыраюцца крывяносныя сасуды, што ўзмацняе прыток крыві да пашкоджанага ўчастка.

Узрастае таксама пранікальнасць сценак капіляраў, у выніку чаго ўзмацняецца выхад плазмы крыві ў міжклетачную прастору. Гэта выклікае набуханне пашкоджанага ўчастка тканкі — развіваецца ацёк. Праз сценкі капіляраў у ачаг



Мал. 73. Запаленчая рэакцыя : *1* — пранікненне ў рану бактэрый; *2* — згусанне крыві ў месцы ранення; 3 — выдзяленне гістаміну і сератаніну; *4* — выхад лейкацытаў з крывяноснага сасуда; *5* — фагацытоз; *6* — выдзяленне рэчываў, якія прыцягваюць клеткі імуннай сістэмы ў ачаг запалення

запалення актыўна пранікаюць фагацытуючыя клеткі, якія паглынаюць чужародныя рэчывы, мікраарганізмы, амярцвелыя клеткі ўласных тканак арганізма і ператтраўліваюць іх (мал. 73). Нярэдка фагацыты самі гінуць, абараняючы арганізм. Гной, які ўтвараецца ў ачагу запалення, уяўляе сабой сукупнасць мёртвых клетак арганізма (у тым ліку загінуўшых лейкацытаў), мікраарганізмаў і розных біялагічна актыўных рэчываў.

Усе разгледжаныя ахоўныя механізмы з'яўляюцца прыроджанымі і ляжаць у аснове неспецыфічнага імунітэту. Назва «неспецыфічны» абумоўлена тым, што дадзеная форма імунітэту забяспечвае стандартныя, аднатыпныя рэакцыі на антыгены без іх спецыфічнага распазнавання. Іншымі словамі, неспецыфічны імунітэт працуе па прынцыпе «свой ці чужы», перашкаджаючы пранікненню ў арганізм любых чужародных аб'ектаў або знішчаючы іх.

?

1. Што такое імунітэт?

2. Што ўяўляюць сабой неспецыфічныя механізмы імунітэту? Чаму яны называюцца неспецыфічнымі?

3. Якія асаблівасці скуранога покрыва і слізістых абалонак абумоўліваюць іх бар'ерную і ахоўную функцыі?

4. Чаму фагацытоз адносяць да неспецыфічных ахоўных рэакцый арганізма?
5. У чым заключаецца ахоўная роля інтэрферонаў і сістэмы камплементу?
6. У якіх выпадках можа развівацца запаленчы працэс? З чым звязана пачырваненне, развіццё ацёку і павышэнне тэмпературы ў ачагу запалення? У чым заключаецца ахоўная функцыя запаленчай рэакцыі?
7. Чаму медыцынскім работнікам (нават тым, хто працуе ў інфекцыйных бальніцах) не робяць прывіўкі ад усіх інфекцыйных хвароб? Назавіце некалькі прычын.

§ 33. Спецыфічная імунная ахова арганізма

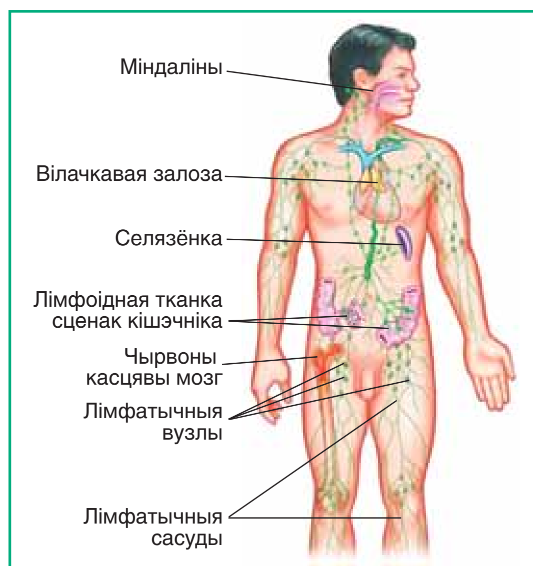
Паняцце аб спецыфічнай імуннай ахове. Калі неспецыфічным механізмам аховы не ўдаецца абясшкодзіць узбуджальніка хваробы або чужароднае рэчыва, то ў дзеянне ўключаецца спецыфічная ахова — **імунны адказ арганізма**. Яго адметнай асаблівасцю з'яўляецца распазнанне чужароднага аб'екта — антыгена — і выпрацоўка фактараў аховы, накіраваных спецыяльна супраць яго. Імунны адказ арганізма ажыццяўляецца дзякуючы функцыянаванню і ўзаемадзеянню асобых груп лейкацытаў.

Як вы памятаеце з курса біялогіі 9-га класа, адрозніваюць зярністыя і незярністыя лейкацыты. Да незярністых адносяцца манацыты і лімфацыты. Менавіта лімфацыты адыгрываюць галоўную ролю ў ажыццяўленні спецыфічнай аховы арганізма. Іх прынята дзяліць на дзве групы — Т-лімфацыты і В-лімфацыты. Праз некаторы час пасля пранікнення ў арганізм антыгена сярод Т- і В-лімфацытаў з'яўляюцца асобыя клеткі, прызначаныя для аховы ад дадзенага чужароднага агента, — фарміруецца **спецыфічны (набыты) імунітэт**.

Утварэнне і выспяванне лімфацытаў адбываецца ў органах **імуннай сістэмы**.

Адрозніваюць цэнтральныя і перыферычныя органы імуннай сістэмы (мал. 74). Да цэнтральных адносяцца чырвоны касцявы мозг і тымус.

Чырвоны касцявы мозг утрымлівае ствалавыя клеткі, з якіх утвараюцца ўсе форменныя элементы крыві,



Мал. 74. Імунная сістэма чалавека

у тым ліку і лімфатыты. Утвораныя лімфацыты перамяшчаюцца ў тымус або ў перыферычныя органы імуннай сістэмы, дзе адбываецца іх дыферэнцыроўка (выспяванне).

Тымус (вілачкавая залоза) — адзін з самых загадкавых і малавывучаных органаў нашага цела. Вілачкавая залоза размешчана ў верхняй частцы груднога клеткі, за грудзінай. Тымус максімальна развіты ў раннім дзіцячым узросце, а ў падлеткаў пачынаецца яго інвалюцыя, г. зн. адваротнае развіццё органа. У тымусе выспяваюць Т-лімфацыты. Спелыя Т-лімфацыты забяспечваюць распазнаванне і знішчэнне антыгенаў, а таксама рэгулююць работу некаторых іншых клетак імуннай сістэмы.

Да перыферычных органаў імуннай сістэмы адносяцца селязёнка, лімфатычныя вузлы, міндаліны, а таксама вялікая колькасць лімфоіднай тканкі ў сценках кішэчніка і іншых органаў. Тут адбываецца выспяванне В-лімфацытаў, галоўнай функцыяй якіх з’яўляецца выпрацоўка антыцел (імунаглабулінаў).

Імунны адказ. Трапляючы ў арганізм, узбуджальнік размнажаецца і прыцягвае да сябе ўвагу клетак імуннай сістэмы. Імунакампетэнтныя клеткі адрозніваюцца тым, што ўмеюць распазнаваць розныя тыпы антыгенаў і выкарыстоўваць найбольш эфектыўныя метады аховы супраць кожнага.

Дапусцім, у арганізме адбываецца размнажэнне хваробатворных бактэрый. Іх выяўляюць буйныя фагацыты — макрафагі (ад грэч. *макрас* — вялікі, *фагас* — пажыральнік). Макрафагі не проста паглынаюць і ператраўліваюць чужародныя аб’екты. Яны пэўным чынам расшчэпліваюць іх, а затым размяшчаюць антыгенныя фрагменты на ўласнай мембране і падаюць для распазнавання Т-лімфацытам.

Т-лімфацыты неаднародныя, у залежнасці ад выконваемых імі функцый выдзяляюць тры асноўныя класы: Т-хелперы (у перакладзе з англійскай мовы — памочнікі), Т-кілеры (забойцы) і Т-супрэсары (прыгнятальнікі). Такім чынам, макрафаг сустракаецца з Т-хелперамі і «дэманструе» ім антыгены. Т-хелперы здольны не толькі распазнаваць антыгены, але і вызначаць, ці сустракаўся з імі арганізм раней. Распазнаўшы пэўны антыген, Т-хелперы пачынаюць стымуляваць В-лімфацыты да выпрацоўкі адпаведных антыцел — «зброі» супраць дадзенага антыгена.

Увесь працэс, які прыводзіць да імуннага адказу арганізма, звычайна развіваецца 7—14 дзён. Менавіта праз гэты тэрмін плазмацыты (актываваныя В-лімфацыты) пачынаюць інтэнсіўна выдзяляць антыцелы, якія падаюцца ў кроў, лімфу, тканкавую вадкасць і распаўсюджваюцца па арганізме. Антыцелы (імунаглабуліны) — гэта спецыфічныя бялкі, здольныя звязвацца з пэўным антыгенам (мал. 75). Розныя антыцелы выконваюць розныя функцыі: садзейнічаюць знішчэнню пэўных мікраарганізмаў або прыгнятаюць іх жыццядзейнасць, абясшкоджваюць чужародныя клеткі, нейтралізуюць таксічныя рэчывы і г. д. Паколькі антыцелы выдзяляюцца ў вадкія асяроддзі арганізма, транспартуюцца імі і сам працэс звязвання антыцел з антыгенамі таксама адбываецца ў вадкім асяроддзі, дадзеную форму аховы адносяць да **гумаральных** (ад лац. *гумар* — вадкасць) механізмаў імунітэту.

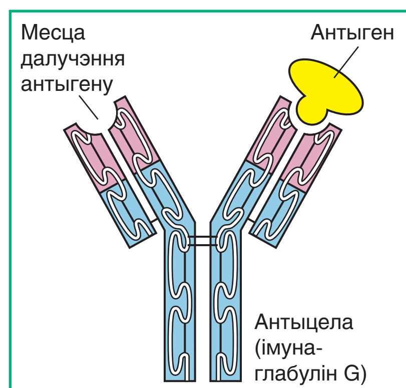
Антыцелы выпрацоўваюцца менавіта супраць таго антыгена, які трапіў у арганізм. Яны па-рознаму дзейнічаюць на «ворагаў»: адны склейваюць антыгены (аглютыніны), іншыя асаджваюць (прэцыпітыны), трэція актывуюць сістэму камплементу і тым самым прыводзяць чужародныя клеткі да разбурэння (лізіны). А такія антыцелы, як апсаніны, іграюць «рэкламную» ролю — яны прымацоўваюцца да чужародных клетак, робячы іх больш прывабнымі для праглынання фагацытамі. У любым выпадку антыгены абясшкоджваюцца.

Прасочым увесь ланцужок узаемадзеянняў, які прыводзіць да імуннага адказу: антыгены → макрафагі → Т-хелперы → В-лімфацыты → антыцелы → абясшкоджванне антыгенаў.

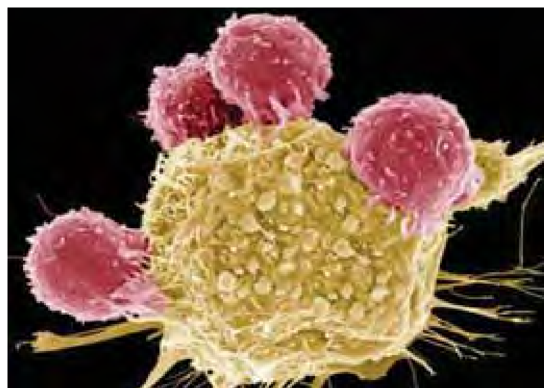
Аднак не ўсе чужародныя агенты можна распазнаваць і знішчаць з дапамогай фагацытозу і антыцел. Такія спосабы прыдатныя, напрыклад, для барацьбы з бактэрыямі, аднак яны неэфектыўныя ў адносінах да вірусаў. Справа ў тым, што вірусы пранікаюць у клеткі арганізма, дзе і працякае іх цыкл развіцця. Антыцелы і фагацыты не могуць абясшкодзіць вірусы, якія «схаваліся» ўнутры клетак. Каб справіцца з вірусамі, часта прыходзіцца знішчаць уласныя клеткі, заражаныя імі.

Гэтую функцыю паспяхова выконваюць Т-кілеры. Яны спецыфічна распазнаюць і знішчаюць клеткі, заражаныя вірусамі. Т-кілеры эфектыўна разбураюць і іншыя «дэфектныя» клеткі, напрыклад пухлінныя (мал. 76). Пры гэтым адбываецца непасрэдны кантакт імунакампетэнтнай клеткі (Т-кілера) з антыгенам, таму функцыянаванне Т-кілераў адносяць да **клетачных** механізмаў імунітэта.

Такім чынам, на працягу пэўнага часу імунны адказ развіваецца, набіраючы сілу. І вось «вораг» ужо адступае. Арганізм не павінен траціць сілы дарэмна — імунную рэакцыю трэба спыніць. Гэта ажыццяўляецца з дапамогай Т-супрэсараў. Калі б Т-супрэсараў не было, імунная рэакцыя ўвесь час нарастала б і станавілася некіруемай.



Мал. 75. Звязванне антыцела з антыгенам



Мал. 76. Т-кілеры знішчаюць пухлінную клетку

Некаторыя клеткі, якія забяспечваюць спецыфічную ахову арганізма, здольны не толькі распазнаваць, але і «запамінаць» канкрэтныя антыгены. Гэта клеткі імуннай памяці, якія могуць існаваць 20 і больш гадоў, а часам на працягу ўсяго жыцця арганізма. Дзякуючы ім пры паўторнай сустрэчы з антыгенам імунны адказ развіваецца хутчэй, ва многіх выпадках яшчэ да таго, як чужародны аб'ект паспявае нанесці шкоду арганізму. Такі імунны адказ называецца **другасным**.

Актывацыя набытага імунітэту суправаджаецца павышэннем тэмпературы і агульнай слабасцю, паколькі арганізм накіроўвае асноўныя сілы на барацьбу з антыгенамі. Павышаная тэмпература цела пагубна дзейнічае на ўзбуджальнікаў многіх захворванняў, стымулюе працэсы абмену рэчываў і павышае актыўнасць клетак імуннай сістэмы. Таму непажадана збіваць тэмпературу, калі яна падчас хваробы ніжэй за 38 °C.

Прыроджаны (неспецыфічны) і набыты (спецыфічны) імунітэт цесна звязаны, аднак пастаянна актыўны толькі прыроджаны імунітэт. Дзякуючы яму арганізм хутка рэагуе на любое чужароднае ўмяшанне. Спецыфічны імунны адказ — гэта другі этап ахоўнай рэакцыі арганізма, ён развіваецца параўнальна павольней.

Як неспецыфічны, так і спецыфічны імунітэт абапіраецца на клетачныя і гумаральныя фактары, якія абагульнены ў табліцы 5. Клетачныя і гумаральныя механізмы імунітэту ўзаемазвязаны і дзейнічаюць зладжана.

Табліца 5. **Асноўныя механізмы неспецыфічнага і спецыфічнага імунітэту**

Механізмы імунітэту	Неспецыфічны (прыроджаны) імунітэт	Спецыфічны (набыты) імунітэт
Гумаральныя	Функцыянаванне лізацыму, сістэмы камплементу, інтэрферонаў, другіх рэчываў	Функцыянаванне антыцел (імунаглабулінаў)
Клетачныя	Фагацытоз	Дзейнасць Т-кілераў

Алергія. Часам імунная сістэма можа даваць збоі. Напрыклад, у некаторых людзей назіраецца павышаная адчувальнасць да пэўных рэчываў. Звычайна гэтыя рэчывы не ўяўляюць пагрозы для арганізма, аднак у выніку іх пранікнення развіваецца магутны, неадэкватны імунны адказ. Такая рэакцыя арганізма называецца **алергіяй**, а рэчывы, якія яе выклікаюць, — **алергенамі**.

Алергенамі могуць быць кампаненты дамашняга пылу, поўсць жывёл, пылок раслін, разнастайныя харчовыя прадукты (цытрусавыя, арэхі, мёд, шакалад, яйкі, рыба і інш.), а таксама лекавыя прэпараты, рэчывы, якія ўваходзяць у састаў сродкаў бытавой хіміі, касметыкі, парфумерыі і інш.

Алергія нярэдка суправаджаецца насмаркам, слёзацячэннем, моцным кашлем, расстройствам стрававання, living рознымі скуранымі высыпаннямі. У некаторых выпадках алергічная рэакцыя можа прадстаўляць небяспеку для арганізма і нават

прыводзіць да смерці. Многія сімптомы алергіі падобны да ранніх прымет інфекцыйных захворванняў, таму заключэнне аб наяўнасці ў чалавека алергіі на тое ці іншае рэчыва можа даць толькі ўрач.

У апошнія дзесяцігоддзі назіраецца рост захворванняў рознымі формамі алергіі. Яго звязваюць з забруджваннем навакольнага асяроддзя, выкарыстаннем прадуктаў хімічнай прамысловасці ў быце, сельскай гаспадарцы і іншымі фактарамі. Аднак прычыны і механізмы развіцця алергіі яшчэ недастаткова вывучаны, што ўскладняе лячэнне алергічных захворванняў.

Рашэнне гэтай і многіх іншых актуальных праблем імуналогіі (супрацьпухлінная ахова, трансплантацыя органаў і тканак, СНІД, стварэнне эфектыўнай імуннай аховы супраць узбуджальнікаў небяспечных інфекцый) з’яўляецца задачай медыцыны XXI ст.

?

1. Адказ арганізма на пэўны антыген, які ажыццяўляецца з дапамогай імуннай сістэмы, трэба адносіць да спецыфічнага ці неспецыфічнага імунітэту? Чым адрозніваюцца спецыфічныя механізмы аховы ад неспецыфічных?

2. Якія віды імунакампетэнтных клетак утвараюцца ў арганізме? Якія іх функцыі?

3. Што такое другасны імунны адказ? Чаму ён развіваецца хутчэй за першасны? Чым абумоўлена ўстойлівасць да ветраной воспы ў людзей, якія перахварэлі гэтай хваробай?

4. Вірус імунадэфіцыту чалавека (ВІЧ) паражае Т-хелперы і садзейнічае іх гібелі. Да якіх вынікаў для арганізма гэта можа прыводзіць?

5. У чым заключаецца адрозненне паміж гумаральнымі і клетачнымі механізмамі імунітэту? Прывядзіце прыклады.

6. Якія рэчывы могуць выклікаць алергію? Чаму алергію называюць «неадэкватным імунным адказам»?

7. Лімфацыты ў працэсе выспявання набываюць спецыфічныя мембранныя рэцэптары, якія дазваляюць гэтым клеткам узаемадзейнічаць адна з другой і распазнаваць пэўныя антыгены. Па хімічнай прыродзе рэцэптары лімфацытаў уяўляюць сабой складаныя бялкі. Сінтэзу рэцэптараў папярэднічаюць шматразовыя выпадковыя перастаноўкі ўчасткаў генаў, якія кадзіруюць дадзеныя бялкі. Як вы думаеце, у чым заключаецца біялагічнае значэнне такіх перастановак?

Глава 5 Размнажэнне і індывідуальнае развіццё арганізмаў

§ 34. Тыпы размнажэння арганізмаў. Бясполае размнажэнне

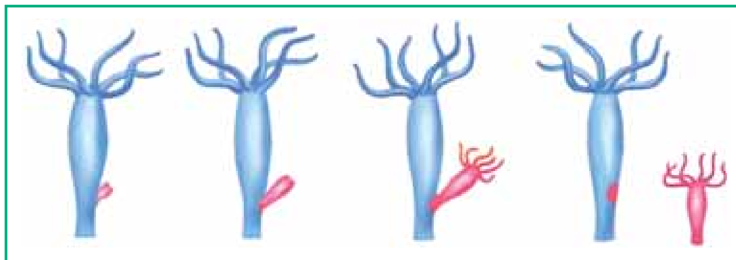
Сутнасць працэсу размнажэння. **Размнажэнне** — гэта ўласцівасць жывых арганізмаў узнаўляць сабе падобных. Пры размнажэнні адбываецца перадача спадчыннай інфармацыі ад бацькоўскіх форм патомству, што забяспечвае ўзнаўленне прымет не толькі дадзенага віду, але і канкрэтных бацькоўскіх асобін. Значыць, размнажэнне падтрымлівае працяглае існаванне віду, захоўваючы пры гэтым пераемнасць паміж бацькамі і іх патомствам у шэрагу многіх пакаленняў.

Адрозніваюць два тыпы размнажэння: бясполае і палавое.

Бясполае размнажэнне — гэта размнажэнне арганізмаў без удзелу палавых клетак. У бясполым размнажэнні ўдзельнічае толькі адна бацькоўская асобіна, што ў большасці выпадкаў вядзе да з'яўлення аднастайнага патомства, якое ўнаследавала ўсе прыметы бацькі. Існуе некалькі спосабаў бясполага размнажэння: дзяленне клеткі, пачкаванне, фрагментацыя, вегетатыўнае размнажэнне, спораўтварэнне і інш.

Бактэрыі і многія аднаклетачныя пратысты (*амёбы, эўглены, інфузорыі* і інш.) размнажаюцца **дзяленнем клеткі**. Утвораныя даччыныя клеткі растуць, дасягаюць велічыні мацярынскага арганізма і зноў дзеляцца.

Пры **пачкаванні** новы арганізм утвараецца на целе бацькоўскай асобіны ў выглядзе невялікай нарасці — почкі, якая расце, а затым аддзяляецца, ператвараючыся ў самастойны арганізм (мал. 77). Пачкаванне характэрна для *губак, кішачнаполасцевых*, некаторых *чарвякоў*. Калі пры гэтым даччыныя асобіны не аддзяляюцца ад мацярынскай (напрыклад, у *каралаў*), то фарміруецца калонія.



Мал. 77. Пачкаванне гідры

Многія *грыбы* могуць размнажацца фрагментамі (участкамі) гіфаў, а *лішайнікі* і мнагаклетачныя *водарасці* — фрагментамі слаявішчаў. Такі спосаб размнажэння называецца **фрагментацыяй**. Размнажэнне арганізмаў шляхам фрагментацыі заснавана на р э г е н е р а ц ы і — здольнасці аднаўляць страчаныя або пашкоджаныя часткі цела. Фрагментацыя таксама назіраецца ў *губак, кішачнаполасцевых, плоскіх* і некаторых *кольчатых чарвякоў*.

Вегетатыўнае размнажэнне — гэта ўтварэнне новых асобін з вегетатыўных органаў. Вегетатыўнае размнажэнне, як і фрагментацыя, заснавана на з'яве рэгенерацыі. Гэты спосаб размнажэння шырока распаўсюджаны ў свеце раслін, але найбольшай разнастайнасці дасягае ў *кветкавых раслін* (мал. 78).

Мал. 78. Спосабы вегетатыўнага размнажэння раслін

У прыродзе пры вегетатыўным размнажэнні новыя асобіны могуць фарміравацца з к а р а н ё ў, на якіх утвараюцца прыдатачныя пупышкі (каранёвы парашнік *вішні, шыпшыны, бэзу*), з п а р а с т к а ў (сцябловыя атожылкі *парэчак, агрэсту*) або іх частак (напрыклад, з чаранкоў *вярбы ломкай*, лістоў *каланхоэ*). Пры гэтым на фрагменце парастка абавязкова павінна прысутнічаць верхавінная або бакавая пупышка ці пад уплывам знешніх умоў (напрыклад, траўмы) павінны сфарміравацца прыдатачныя пупышкі.

Вегетатыўнае размнажэнне можа ажыццяўляцца таксама пры дапамозе відазмененых парасткаў: к л у б н я ў (*бульба, тапінамбур*), ц ы б у л і н (*цыбуля, часнок, цюльпан, нарцыс*), к а р э н і ш ч а ў (*пырнік, ландыш, крапіва*), в у с о ў (*суніцы, казялец паўзучы*).

У некаторых раслін (*асіны, вярбы, слівы, вішні, малін* і інш.) вегетатыўнае размнажэнне можа нават пераважаць над палавым. Прыкладам расліны, якая актыўна размнажаецца вегетатыўна, з'яўляецца *эладэя канадская* — двухдомная расліна, якая расце ў прэсных вадаёмах. У Еўропу з Паўночнай Амерыкі былі занесены толькі жаночыя асобіны гэтай расліны. Нягледзячы на гэта, эладэя стала вельмі хутка размнажацца вегетатыўным спосабам, год за годам асвойваючы новыя вадаёмы.

У практыцы раслінаводства шырока выкарыстоўваецца штучнае вегетатыўнае размнажэнне раслін. Так, многія культурныя расліны можна размнажаць сцябловымі (*парэчкі, вінаград*) і ліставымі (*узамбарская фіялка, бягонія*) чаранкамі, атожылкамі (*агрэст*) і іншымі спосабамі. У садаводстве распаўсюджана вегетатыўнае размнажэнне з дапамогай прышчэпкі. Гэты спосаб дазваляе хутка размножыць каштоўныя расліны і забяспечвае іх паскоранае развіццё пры поўным захаванні сартавых якасцей. Культурная расліна, якую прывіваюць (прышчэпак), можа атрымаць такія каштоўныя ўласцівасці прышчэпы (расліны, на якой робяць прышчэпку), як марозаўстойлівасць, устойлівасць да хвароб, непатрабавальнасць да ўрадлівасці глебы і інш.

Бясполае размнажэнне дзяленнем клеткі, пачкаваннем, фрагментацыяй і вегетатыўнымі органамі ажыццяўляецца за кошт саматычных, г. зн. неспецыялізаваных клетак. Разам з гэтым для многіх *пратыстаў, грыбоў* і *раслін* характэрна спораўтварэнне, пры якім фарміруюцца спецыялізаваныя клеткі — **споры**. Яны складаюцца з ядра і цытаплазмы з мінімальнай колькасцю пажыўных рэчываў. Споры ўтвараюцца шляхам мітозу або меёзу ў звычайных саматычных клетках мацярынскага арганізма або ў спецыялізаваных органах — спарангіях. У спрыяльных умовах споры прарастаюць і даюць пачатак новаму арганізму. Галоўная вартасць такога спосабу размнажэння — магчымасць утварэння вялікай колькасці патомкаў і хуткага рассялення.

Пры любой форме бясполага размнажэння адбываецца павелічэнне колькасці асобін дадзенага віду. Вартасць бясполага размнажэння заключаецца ў яго прастаце і эфектыўнасці — няма неабходнасці ў пошуку партнёра, патомства можа пакінуць практычна любая асобіна і г. д.

?

1. Якія словы ў сказах прапушчаны і заменены літарамі (а — в)?
Узнаўленне жывымі арганізмамі сабе падобных называецца (а).
Адрозніваюць два тыпы размнажэння: (б) і (в).
2. Якое біялагічнае значэнне размнажэння арганізмаў?
3. Якімі спосабамі можа ажыццяўляцца бясполае размнажэнне ў бактэрый, пратыстаў, грыбоў, раслін і жывёл? Якія формы бясполага размнажэння заснаваны на з'яве рэгенерацыі?
4. Якія спосабы вегетатыўнага размнажэння шырока выкарыстоўваюцца ў сельскай гаспадарцы? Чаму? Прывядзіце прыклады.
5. У чым заключаюцца асаблівасці бясполага размнажэння раслін і жывёл?

6. Пры размнажэнні раслін адраўнелымі чаранкамі рэкамендуюць рабіць надрэз у ніжняй частцы чаранка для больш хуткага ўкаранення. Як вы думаеце, да якога слоя тканак трэба паглыбіцца? Які від каранёў утвараецца на чаранках?

7. У хвашчоў вонкавая абалонка кожнай споры ўтварае дзве ленты, якія ў сухім паветры раскручваюцца і аб'ядноўваюць споры адну з другой. Дзякуючы гэтаму споры хвашчоў распаўсюджваюцца групамі. У другіх раслін, напрыклад у папаратніка шчытоўніка, споры разлятаюцца па адной. З чым звязана наяўнасць лент у спор хвашчоў і чаму споры шчытоўніка не маюць такіх прыстасаванняў?

§ 35. Палавое размнажэнне. Утварэнне палавых клетак

Палавое размнажэнне — спосаб размнажэння, пры якім новая асобіна звычайна развіваецца з зіготы, што ўтвараецца ў выніку зліцця дзвюх палавых клетак.

Палавы працэс. Палавое размнажэнне характарызуецца наяўнасцю палавога працэсу, у ходзе якога адбываецца збліжэнне палавых клетак (г а м е т) і іх наступнае зліццё (а п л а д н е н н е). Гаметы ў большасці арганізмаў утвараюцца з перакамбінаванымі бацькоўскімі храмасомамі (успомніце, як ажыццяўляецца меёз). Пры зліцці гамет утвараецца дыплоідная зігота, з якой развіваецца арганізм, які ўнаследаваў унікальную камбінацыю генаў і прымет абоіх бацькоў. Такім чынам, палавое размнажэнне (у адрозненне ад бясполага) прыводзіць да з'яўлення разнастайнага патомства. Гэта павышае магчымасць арганізмаў прыстасоўвацца да ўмоў асяроддзя, якія ўвесь час мяняюцца, што мае першаступеннае значэнне ў эвалюцыі жывой прыроды.

Адрозніваюць два тыпы палавога працэсу — кан'югацыю і капуляцыю. Пры к а н ' ю г а ц ы і адбываецца зліццё змесціва дзвюх неспецыялізаваных клетак (у некаторых *водарасцей* і *грыбоў*) ці абмен генетычным матэрыялам паміж асобінамі (у некаторых *бактэрый* і *інфузорый*). Прычым у другім выпадку не адбываецца павелічэння колькасці асобін. Аднак за кошт абмену і перакамбінацыі генетычнага матэрыялу забяспечваецца павышэнне спадчыннай зменлівасці арганізмаў.

К а п у л я ц ы я (г а м е т а г а м і я) — зліццё палавых клетак з утварэннем зіготы. Пры гэтым гаплоідныя ядры гамет утвараюць дыплоіднае ядро зіготы.

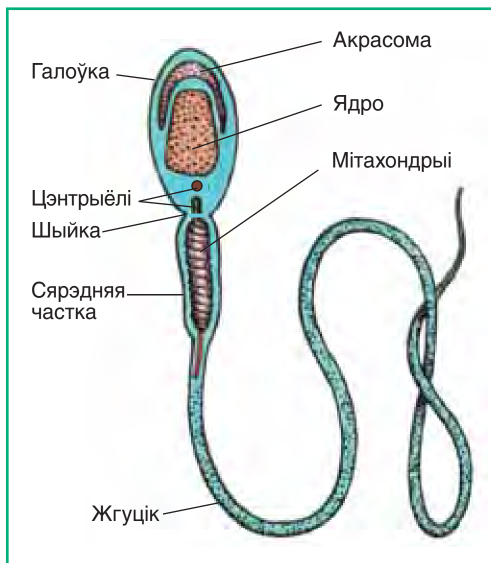
Будова палавых клетак. У большасці відаў жывых арганізмаў фарміруецца два тыпы палавых клетак, якія адрозніваюцца па будове і фізіялагічных уласцівасцях — мужчынскія (рухомыя с п е р м а т а з о і д ы або нерухомыя с п е р м і і) і жаночыя (я й ц а к л е т к і).

Сперматазоіды чалавека і многіх жывёл маюць галоўку, шыйку, сярэднюю частку і доўгі жгуцік (хвост), які служыць для актыўнага перамяшчэння (мал. 79). Галоўка змяшчае гаплоіднае ядро і нязначную колькасць цытаплазмы. На пярэднім канцы галоўкі размешчана а к р а с о м а, якая ўяўляе сабой відазменены

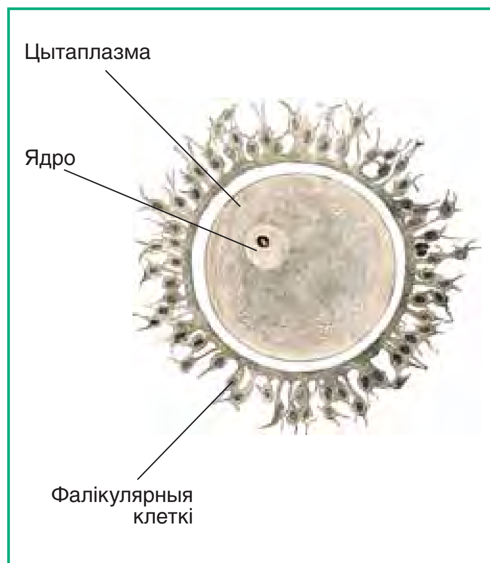
апарат Гольджы. У акрасоме змяшчаюцца ферменты, якія раствараюць абалонкі яйцаклеткі пры апладненні. У шэйцы размяшчаюцца дзве цэнтрыёлі, а ў сярэдняй частцы — мітахондрыі, якія генерыруюць энергію, неабходную для перамяшчэння жгуціка. У хвасце знаходзіцца рухомая восевая ніць жгуціка, пабудаваная з мікратрубачак.

Сперматазоіды могуць доўгі час захоўваць сваю жыццядзейнасць па-за арганізмам пры замарожванні. Гэтая ўласцівасць шырока прымяняецца ў сельскай гаспадарцы, у прыватнасці пры развядзенні буйной рагатай жывёлы метадам штучнага асемянення. Сперму элітных парод жывёл збіраюць і захоўваюць у вадкім азоце, а пасля размарожвання выкарыстоўваюць для атрымання высокапрадукцыйнага патомства.

Яйцаклеткі часцей за ўсё нерухомыя і маюць сферычную форму (мал. 80). Яйцаклетка ўтрымлівае ядро і цытаплазму з наборам розных арганоідаў і запасам пажыўных рэчываў для развіцця зародка. Таму яйцаклеткі, як правіла, намнога большыя за сперматазоіды і саматычныя клеткі. Напрыклад, дыяметр яйцаклетак чалавека дасягае 200 мкм, у той час як даўжыня сперматазоідаў — каля 60 мкм. Вельмі вялікія памеры маюць яйцаклеткі жывёл, эмбрыянальнае развіццё якіх адбываецца па-за целам маці, — *птушак, рэптылій, амфібій, рыб* і інш. Так, у *курыцы* дыяметр яйцаклеткі (яйца без бялковай абалонкі) больш чым 30 мм, у некаторых *акул* — 50 — 70 мм, а ў *страуса* — 80 мм.



Мал. 79. Будова сперматазоіда млекакормячых



Мал. 80. Будова яйцаклеткі млекакормячых

Яйцаклеткі пакрыты абалонкамі. Паводле паходжання абалонкі дзеляць на першасныя, другасныя і трацічныя. Першасная абалонка яйцаклеткі з'яўляецца вытворнай цытаплазмы і называецца жаўтковай. Яна характэрна для яйцаклетак усіх жывёл. Другасныя абалонкі ўтвараюцца за кошт дзейнасці клетак, якія жывяць яйцаклетку. Яны характэрны, напрыклад, для членістаногіх (хіцінавая абалонка). Трацічныя абалонкі ўзнікаюць у выніку дзейнасці залоз палавых шляхоў. Да трацічных адносяцца шкарлупавая, падшкарлупавая і бялковая абалонкі яец птушак і паўзуноў, студзяністая абалонка яйцаклетак земнаводных. Абалонкі яйцаклетак выконваюць ахоўныя функцыі і забяспечваюць абмен рэчываў з навакольным асяроддзем.

Гаметагенез — гэта працэс утварэння і развіцця гамет. У раслін, некаторых водарасцей і грыбоў фарміраванне гамет адбываецца ў спецыяльных органах. Напрыклад, у споравых раслін жаночыя гаметы ўтвараюцца ў архегоніях, мужчынскія — у антэрыдыях. У большасці жывёл гаметагенез працякае ў палавых залозах.

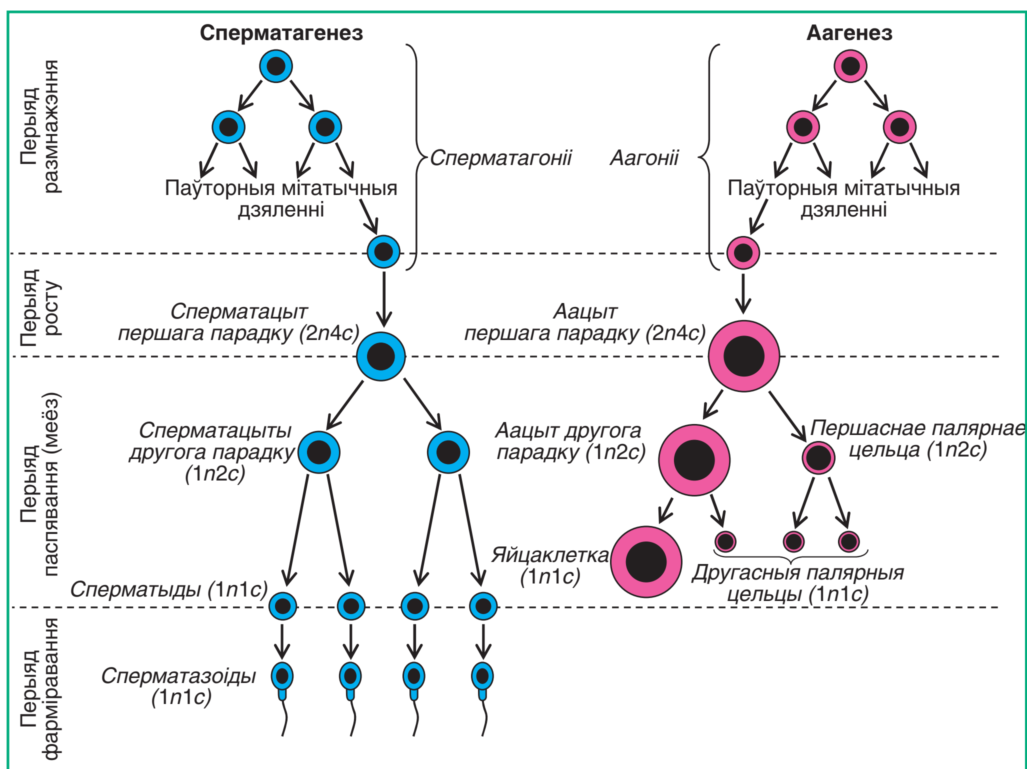
У прыродзе існуе нямала відаў, у якіх адзін і той жа арганізм можа ўтвараць як мужчынскія, так і жаночыя палавыя клеткі. Такія арганізмы называюцца гермафрадытамі (у грэчаскай міфалогіі Гермафрадытас — двухполая істота, дзіця багоў Гермеса і Афрадыты). Гермафрадытызм распаўсюджаны сярод беспазванковых (*кішачнапаласцевых, плоскіх* і *кольчатых чарвякоў, малюскаў*) і ў раслін.

Гермафрадытызм развіваўся як прыстасаванне да сядзячага, малярухомага або паразітычнага ладу жыцця. Адной з яго пераваг з'яўляецца магчымасць самаапладнення пры наяўнасці толькі адной асобіны. Аднак у большасці гермафрадытных відаў адбываецца перакрыжаванае апладненне паміж рознымі асобінамі, паколькі ёсць механізмы, якія перашкаджаюць самаапладненню. Напрыклад, перакрыжаванае апладненне ў *марскіх ракападобных* і некаторых *малюскаў* забяспечваецца неадначасовым выспяваннем мужчынскіх і жаночых гамет. У *раснічных* і *дажджавых чарвякоў* палавы апарат створаны такім чынам, што паступленне сперматазоідаў у жаночыя органы той жа асобіны становіцца немагчымым.

Утварэнне палавых клетак у млекакормячых. Працэс фарміравання мужчынскіх палавых клетак называецца сперматагенезам, а жаночых — аагенезам.

Сперматагенез адбываецца ў мужчынскіх палавых клетках — семянніках. Гэты працэс падраздзяляецца на чатыры перыяды (мал. 81).

1. У **перыяд размнажэння** дыплоідныя папярэднікі мужчынскіх гамет — сперматагоніі — шматразова дзеляцца мітозам, што вядзе да значнага павелічэння іх колькасці. У самцоў млекакормячых (у тым ліку і ў чалавека) гэты працэс пачынаецца з перыяду палавой спеласці і працякае да глыбокай старасці.



Мал. 81. Схема сперматагенезу і аагенезу ў млекакормячых

2. У **перыяд росту** дзяленне сперматазоідаў спыняецца, і яны пачынаюць расці (пры гэтым памеры павялічваюцца нязначна) — утвараюцца сперматацыты першага парадку.

3. У **перыяд выспявання** сперматацыты першага парадку дзеляцца меёзам. Пасля першага дзялення меёзу з кожнага сперматацыта першага парадку ўтвараюцца два гаплоідныя сперматацыты другога парадку, пасля другога — чатыры гаплоідныя сперматыды.

4. У **перыяд фарміравання** сперматыды пераўтвараюцца ў сперматазоіды, пры гэтым мяняецца форма клеткі, утвараюцца жгуцік, акрасома і інш.

Працягласць сперматагенезу ў чалавека складае каля 75 сутак. У семянніках (яечках) фарміруецца вялікая колькасць сперматазоідаў, напрыклад у чалавека ў 1 мл семяннай вадкасці іх змяшчаецца да 100 млн.

Аагенез працякае ў жаночых палавых залозах — яечніках — і пачынаецца яшчэ да нараджэння. У працэсе фарміравання яйцаклетак выдзяляюць тры перыяды (гл. мал. 81).

1. У **перыяд размнажэння** дыплоідныя папярэднікі яйцаклетак — *аагоніі* — шмат разоў дзеляцца мітатычна. У млекакормячых гэты працэс адбываецца ў эмбрыянальным перыядзе (да нараджэння). Колькасць аагоніяў у яечніках значна узрастае, а затым яны захоўваюцца без змянення да наступлення палавой спеласці.

2. З наступленнем палавой спеласці асобныя аагоніі перыядычна ўступаюць у **перыяд росту**, які можа працягвацца некалькі месяцаў. За гэты час іх аб'ём значна павялічваецца за кошт паступлення рэчываў з акружаючых фалікулярных клетак і крыві. Так утвараюцца *аацыты першага парадку*.

3. Перыядычна аацыты першага парадку ўступаюць у меёз. Гэта **перыяд выспявання**. У працэсе меёзу ўтвараюцца розныя па велічыні даччыныя клеткі. Пасля першага меятычнага дзялення ўтвараецца буйная гаплоідная клетка — *аацыт другога парадку* — і маленькая, называемая *першасным палярным цельцам*. Адбываецца авуляцыя — аацыт другога парадку выходзіць з яечніка ў брушную поласць. Затым ён трапляе ў матачную трубу, дзе здзяйсняе другое меятычнае дзяленне, утвараючы буйную *яйцаклетку* і дробнае *другаснае палярнае цельца*. Першаснае палярнае цельца, як правіла, таксама дзеліцца напалам. Усе палярныя цельцы ў рэшце рэшт гінуць і разбураюцца.

Такім чынам, у адрозненне ад сперматагенезу, дзе ў ходзе меёзу ўтвараюцца чатыры раўназначныя гаплоідныя клеткі, пры аагенезе развіваецца адна буйная яйцаклетка і тры невялікія палярныя цельцы. Біялагічны сэнс нераўнамернага дзялення заключаецца ў захаванні ў яйцаклетцы максімальнай колькасці пажыўных рэчываў, неабходных для развіцця будучага зародка.

?

1. Як называюцца органы, у якіх ажыццяўляецца ўтварэнне жаночых і мужчынскіх гамет у споравых раслін? У жывёл?

Яечнікі, антэрыдыі, спарангіі, семяннікі, архегоніі.

2. Як будова сперматазоіда і яйцаклеткі звязана з функцыямі, якія выконваюцца гэтымі клеткамі?

3. Сперматазоіды практычна не ўтрымліваюць цытаплазмы і пажыўных рэчываў, аднак ім неабходна вялікая колькасць энергіі для руху. Як вы думаеце, адкуль бярэцца гэтая энергія?

4. Якая максімальная колькасць яйцаклетак і другасных палярных цельцаў можа сфарміравацца ў кошкі з чатырох аацытаў першага парадку?

5. Якія працэсы, што адбываюцца ў ходзе аагенезу, забяспечваюць назапашванне ў яйцаклетках вялікай колькасці пажыўных рэчываў?

6. Які біялагічны сэнс утварэння пры аагенезе палярных цельцаў?

7. Параўнайце працэсы сперматагенезу і аагенезу, вызначыце рысы іх падабенства і адрознення.

8. У яечніках 22-гадовай жанчыны са стабільным 28-дзённым рэпрадукцыйным цыклам змяшчаецца 42 тыс. фалікулаў. Большасць з іх вельмі дробныя, і толькі 299 маюць дыяметр звыш 100 мкм. Акрамя таго, у яечніках ёсць 5 жоўтых цел і 112 рубцоў, якія засталіся ад іх. У якім узросце ў гэтай жанчыны адбылася першая авуляцыя? У якім узросце ў яе, верагодней за ўсё, спыніцца ўтварэнне яйцаклетак?

§ 36. Апладненне

Асемяненне і апладненне ў жывёл. Працэсы, якія абумоўліваюць сустрэчу і кантакт мужчынскіх і жаночых палавых клетак жывёл, называюцца **асемяненнем**. Асемяненне папярэднічае зліццю гамет — **апладненню**. У адных жывёл зліццё сперматазоіда з яйцаклеткай адбываецца ў знешнім асяроддзі, у другіх — унутры арганізма самкі. У сувязі з гэтым адрозніваюць вонкавае і ўнутранае апладненне.

Пры **вонкавым** апладненні сперматазоіды і яйцаклеткі выводзяцца ў ваду (г. зн. у знешняе асяроддзе), дзе і адбываецца іх зліццё. Значная частка гамет гіне ад неспрыяльных умоў асяроддзя, таму ў жывёл з вонкавым тыпам апладнення (*касцявых рыб, амфібій*, многіх *водных беспазваночных*) выпрацоўваецца вялікая колькасць палавых клетак. Напрыклад, *траска* адкладвае каля 10 млн ікрынак, а *рыба-месяц* — да 300 млн.

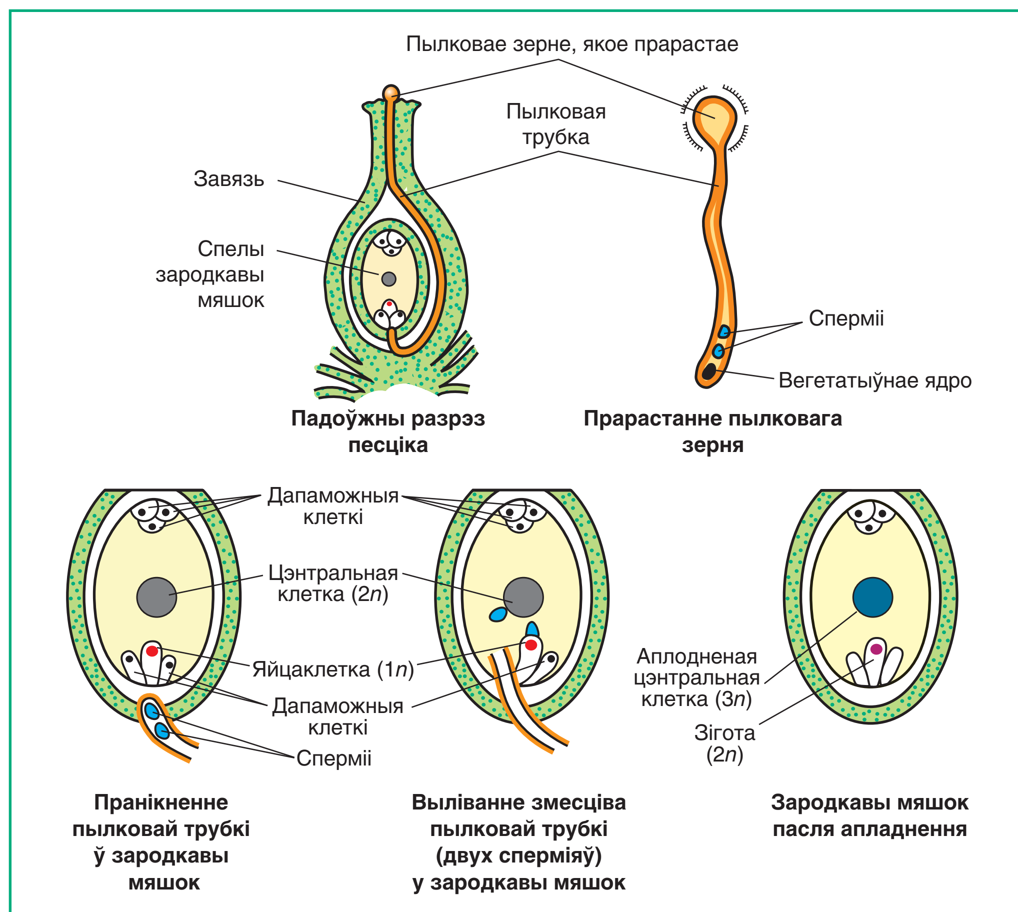
Унутранае апладненне адбываецца ў мацярынскім арганізме, для гэтага сперматазоіды ўводзяцца ў палавыя шляхі самкі. Верагоднасць сустрэчы мужчынскіх і жаночых гамет значна вышэйшая, чым пры вонкавым апладненні, таму ў самак фарміруецца меншая колькасць яйцаклетак. Унутранае апладненне характэрна перш за ўсё для насельнікаў сушы — многіх беспазваночных (*круглых чарвякоў, павукоў* і *насякомых*) і ўсіх наземных пазваночных (*рэптылій, птушак, млекакормячых*). Гэты тып апладнення назіраецца і ў некаторых водных жывёл, напрыклад у *храстковых рыб* і *галаваногіх малюскаў*.

Працэс апладнення складаецца з некалькіх этапаў: пранікнення сперматазоіда ў яйцаклетку, зліцця гаплоідных ядзер абедзвюх гамет з утварэннем дыплоіднай зіготы і яе актывацыі да далейшага развіцця.

Пранікненне сперматазоіда выклікае ў яйцаклеткі адслаенне абалонкі апладнення, якая перашкаджае пранікненню іншых сперматазоідаў. У цытаплазме яйцаклеткі ядро сперматазоіда павялічваецца і дасягае памераў ядра яйцаклеткі. Затым ядры збліжаюцца і зліваюцца, у выніку ўтвараецца зігота. У ядры зіготы ўсе храмасомы зноў становяцца парнымі: у кожнай пары гамалагічных храмасом адна з'яўляецца бацькаўскай, другая — мацярынскай. Значыць, дыплоідны набор храмасом, характэрны для саматычных клетак большасці жывых арганізмаў, аднаўляецца менавіта пры апладненні.

Асаблівасці апладнення ў раслін. Разгледзім працэс апладнення на прыкладзе *кветкавых (пакрытанасенных) раслін* (мал. 82). У іх апладненню папярэднічае апыленне — перанос пылковых зерняў з тычынак на рыльца песціка. Пылковае зерне, якое трапіла на рыльца песціка, хутка пачынае прарастаць, утвараючы пылковую трубку. Пылковая трубка пранізвае мякаць слупка і завязі, дасягаючы семязачатка (семяпочкі).

Унутры кожнага семязачатка ўтрымліваецца зародкавы мяшок, які змяшчае сем клетак — гаплоідную яйцаклетку, дыплоідную цэнтральную клетку, а таксама пяць дапаможных гаплоідных клетак. Пры ўваходзе ў зародкавы мяшок канец пылковай трубкі лопаецца, і з яе выліваецца ўнутранае змесціва з двума мужчынскімі гаметамі — сперміямі.



Мал. 82. Двайное апладненне ў кветкавых раслін

Адзін са спермііяў зліваецца з яйцаклеткай, утвараючы зіготу, а другі — з цэнтральнай клеткай зародкавага мяшка. Абодва зліцці адбываюцца амаль адначасова. З зіготы развіваецца зародак семя, які мае дыплоідны ($2n$) набор храмасом, а з аплодненай цэнтральнай клеткі — тканка, называемая эндаспермам, якая мае трыплоідны ($3n$) набор храмасом. У эндасперме адкладваюцца пажыўныя рэчывы, неабходныя зародку.

Пасля апладнення кожны семязачатак ператвараецца ў семя, а ў выніку разрастання завязі фарміруецца плод.

Такім чынам, у кветкавых (пакрытанасенных) раслін адбываецца **двайное апладненне**. Гэты працэс быў адкрыты рускім вучоным С. Г. Навашыным у 1898 г. У выніку двайнога апладнення адбываецца фарміраванне не толькі зародка, але і пажыўнай тканкі (эндасперму), што паскарае ўвесь працэс развіцця семені.

Партэнагенез уяўляе сабой асобую форму палавога размнажэння, пры якім зародак развіваецца з неаплодненай яйцаклеткі. Гэтая форма размнажэння характэрна галоўным чынам для відаў з кароткім жыццёвым цыклам.

Партэнагенез можа быць гаплоідным і дыплоідным. Пры гаплоідным партэнагенезе новы арганізм развіваецца з гаплоіднай ($1n$) яйцаклеткі. Напрыклад, у *пчол, паразітычных вос, мурашак* у выніку партэнагенезу з'яўляюцца гаплоідныя самцы, у той час як з аплодненых яец — дыплоідныя самкі, што прыводзіць да ўзнікнення розных каст арганізмаў. Такі механізм размнажэння ў грамадскіх насякомых дазваляе рэгуляваць колькасць патомкаў мужчынскага і жаночага полу.

У *тлі, дафній*, некаторых *яшчарак* назіраецца дыплоідны партэнагенез, пры якім самкі фарміруюць «нестандартныя» дыплоідныя ($2n$) яйцаклеткі. З такіх яйцаклетак без апладнення развіваецца дыплоіднае патомства. Гэта дапамагае падтрымліваць колькасць папуляцыі ва ўмовах, калі сустрэча асобін рознага полу мае цяжкасці.

У спрыяльных умовах у *дафній* не адбываецца меёз, а фарміруюцца дыплоідныя яйцаклеткі, якія развіваюцца без апладнення і даюць пачатак самкам. У *скальных яшчарак* перад меёзам адбываецца падваенне ліку храмасом у клетках палавых залоз. Далей тэтраплоідныя ($4n$) клеткі праходзяць меёз, і ў выніку ўтвараюцца дыплоідныя яйцаклеткі, якія без апладнення даюць новае пакаленне, якое складаецца толькі з самак. Вызначана існаванне натуральнага партэнагенезу ў некаторых відаў птушак. Напрыклад, у адной з парод *індычак* многія яйцы развіваюцца партэнагенетычна, прычым з іх з'яўляюцца толькі самцы.

Параўнанне асаблівасцей бясполага і палавога размнажэння. Параўнальная характарыстыка бясполага і палавога размнажэння прыведзена ў табліцы 6.

Табліца 6. **Асаблівасці бясполага і палавога размнажэння**

Бясполае размнажэнне	Палавое размнажэнне
Адбываецца без удзелу гамет	Адбываецца з удзелам гамет
Удзельнічае адзін арганізм	Удзельнічаюць дзве бацькоўскія асобіны (за выключэннем партэнагенезу і самаапладнення)
Няма неабходнасці ў пошуку партнёра. Практычна любая асобіна можа пакінуць патомства	Патомства можа пакінуць не кожная асобіна, неабходны пэўныя ўмовы для сустрэчы партнёраў, утварэння бацькоўскіх пар, вывядзення патомства
У большасці выпадкаў патомства аднастайнае, з'яўляецца копіяй бацькоў. Усе «ўдачныя» і «няўдачныя» спалучэнні бацькоўскіх генаў пераходзяць у наступнае пакаленне	Патомства разнастайнае, паколькі кожны патомак наследуе ўнікальную камбінацыю бацькоўскіх генаў і прымет. Узнікаюць новыя «ўдачныя» і «няўдачныя» спалучэнні генаў і прымет

1. Што такое апладненне? Якое яго біялагічнае значэнне? Якія этапы ўключае працэс апладнення?

2. Для якіх жывёл характэрна вонкавае апладненне? Унутранае? У чым заключаецца перавага ўнутранага апладнення перад вонкавым?

3. Як адбываецца апладненне ў кветкавых раслін? Чаму яно называецца двайным?

4. Чым дыплоідны партэнагенез адрозніваецца ад гаплоіднага?

5. У чым заключаюцца першагі і недахопы партэнагенезу перад звычайнымі формамі палавога размнажэння?

6. Назавіце адметныя асаблівасці, а таксама перавагі і недахопы бясполага і палавога размнажэння.

7. Тлі нараджаюць за лета некалькі партэнагенетычных пакаленняў, якія складаюцца толькі з бяскрылых самак. Пры перанасяленні або іншых неспрыяльных умовах самкі пачынаюць адкладваць яйцы, з якіх развіваюцца крылатыя асобіны абодвух полаў. Якое гэта мае біялагічнае значэнне?

§ 37. Антагенез. Эмбрыянальнае развіццё жывёл

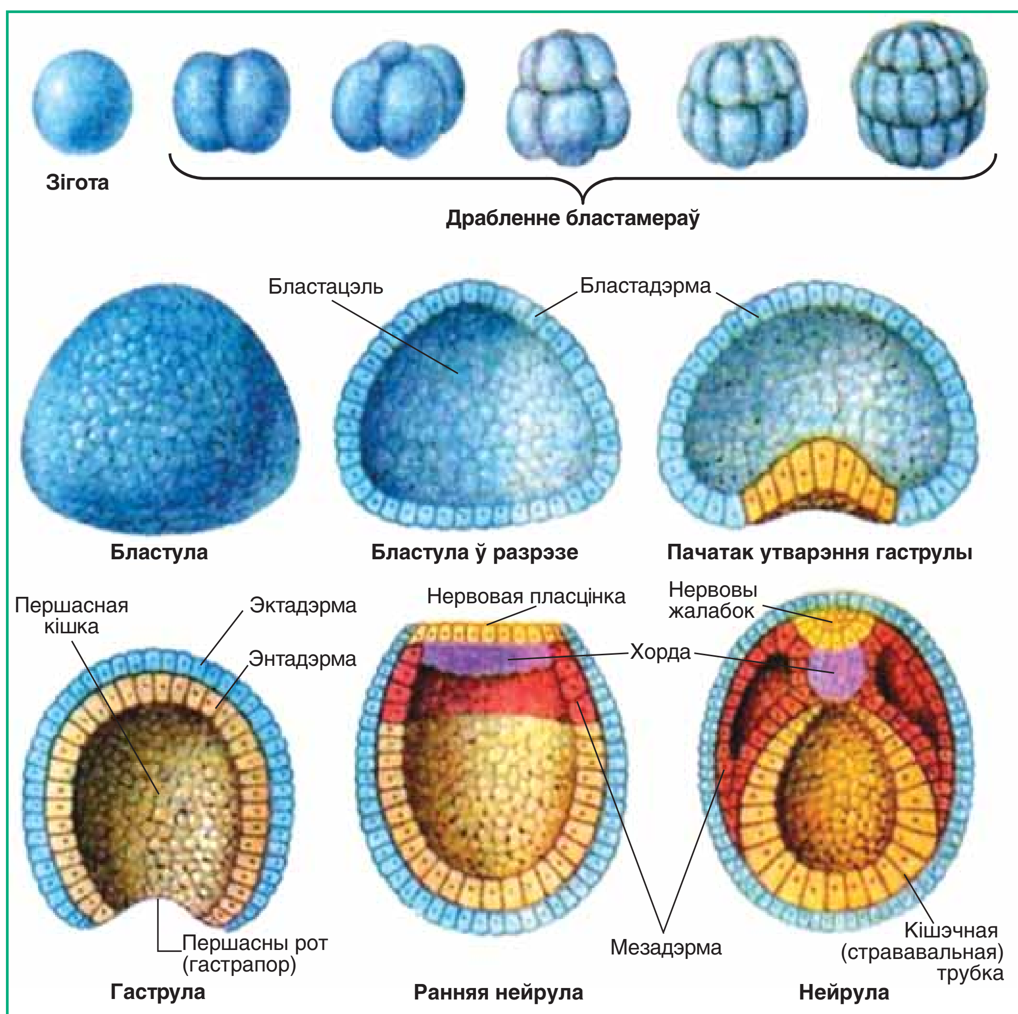
Паняцце аб антагенезе. **Антагенез** — гэта індывідуальнае развіццё арганізма ад пачатку яго існавання да канца жыцця. У аднаклетачных бактэрый і пратыстаў антагенез практычна супадае з клетачным цыклам. Ён пачынаецца з моманту ўтварэння аднаклетачнага арганізма ў працэсе дзялення мацярынскай асобіны і заканчваецца дзяленнем або смерцю.

У мнагаклетачных арганізмаў пачаткам існавання новага арганізма часцей за ўсё з'яўляецца ўтварэнне зіготы (пры палавым размнажэнні) або аддзяленне

патомка ад мацярынскай асобіны (пры бясполым размнажэнні). У жывёл выдзяляюць два перыяды антагенезу — эмбрыянальны і постэмбрыянальны.

Эмбрыянальны, або ***зародкавы***, ***перыяд*** ахоплівае прамежак часу ад першага дзялення зіготы да выхаду з яйца або нараджэння маладой асобіны. Эмбрыянальнае развіццё большасці жывёл праходзіць па адзіным плане і ўключае тры асноўныя этапы: драбленне, гаструляцыю і арганагенез.

Разгледзім эмбрыянальнае развіццё на прыкладзе прымітыўнай хордавай жывёлы — *ланцэтніка* (мал. 83).



Мал. 83. Драбленне зіготы і ўтварэнне зародкавых лісткоў

Праз некаторы час пасля апладнення зігота зведвае шэраг паслядоўных мітатычных дзяленняў. Утвораныя пры гэтым клеткі — бластамеры — не разыходзяцца і не павялічваюцца ў памерах. З кожным наступным мітозам яны становяцца ўсё драбнейшыя і драбнейшыя. Такое дзяленне, якое прыводзіць да павелічэння колькасці бластамераў без іх росту, называецца **драбленнем**. У выніку драблення зіготы зародак становіцца мнагаклетачным, захоўваючы пры гэтым прыкладна той жа аб’ём.

Пры драбленні зіготы часам назіраецца раз’яднанне бластамераў, з якіх у выніку развіваюцца самастойныя арганізмы. Так утвараюцца моназіготныя блізняты, якія таксама называюцца аднаяйцавымі або ідэнтычнымі.

Драбленне завяршаецца ўтварэннем аднаслойнага мнагаклетачнага зародка — **бластулы**. У тыповым выпадку яна нагадвае полы шар, сценка якога, утвораная адным слоем бластамераў, называецца бластадэрмай. Унутры бластулы ёсць поласць, запоўненая вадкасцю, — бластацэль.

Пасля драблення пачынаецца працэс **гаструляцыі**, які ў ланцэтніка ажыццяўляецца шляхам уціскання часткі бластадэрмы ўнутр поласці бластулы. У выніку фарміруецца **гаструла** — чашападобны зародак, утвораны двума слаямі клетак — двума зародкавымі лісткамі. Знешні зародкавы лісток называецца эктадэрмай, унутраны — энтадэрмай. Унутраная поласць гаструлы — першасная кішка — злучаецца са знешнім асяроддзем адтулінай, якая называецца першасным ротам або гастрапорам.

У *чарвякоў, малюскаў* і *членістаногіх* гастрапор у далейшым ператвараецца ў рот. Гэтыя жывёлы ўтвараюць групу першасаротых. У *хордавых* жывёл першасны рот ператвараецца ў анальную адтуліну, а ротавая адтуліна ўтвараецца на процілеглым баку зародка. Такія жывёлы называюцца другаснаротымі.

Толькі *губкі* і *кішачнаполасцевыя* заканчваюць сваё эмбрыянальнае развіццё на стадыі ўтварэння двух зародкавых лісткоў. У астатніх жывёл фарміруецца яшчэ і трэці зародкавы лісток — мезадэрма. У хордавых жывёл эпітэлій першаснай кішкі ўтварае парныя выпукленні ў прастору паміж эктадэрмай і энтадэрмай. У выніку ад першаснай кішкі адшнуроўваюцца замкнутыя полыя мяшочкі — зачаткі мезадэрмы. Поласць унутры мяшочкаў далей развіваецца ў поласць цела.

Далейшая дыферэнцыяцыя клетак кожнага зародкавага лістка прыводзіць да ўтварэння тканак і органаў, г. зн. да **гістагенезу** і **арганагенезу**.

Пасля завяршэння гаструляцыі ў зародкаў хордавых жывёл пачынаецца працэс утварэння восевых органаў — нервовай трубкі, хорды і кішэчнай (стрававальнай) трубкі. Клеткі эктадэрмы, размешчаныя паблізу першаснага рота, пачынаюць хутка дзяліцца і ўтвараюць нервовую пласцінку, якая цягнецца па

ўсім спінным баку зародка. У далейшым бакавыя краі пласцінкі прыпадымаюцца, а яе цэнтральная частка апускаецца, утвараючы нервовы жалабок. Краі жалабка змыкаюцца, і ён ператвараецца ў ляжачую пад эктадэрмай нервовую трубку — зачатак цэнтральнай нервовай сістэмы.

З групы клетак энтадэрмы фарміруецца хорда — пругкі стрыжань, які праходзіць у эмбрыёнаў усіх хордавых пад нервовай трубкай. У выніку ў пазваночных жывёл хорда цалкам замяшчаецца пазванком, і толькі ў некаторых рыб яна захоўваецца на працягу ўсяго жыцця. Астатняя энтадэрма дае пачатак кішэчнай (стрававальнай) трубцы, размешчанай пад хордай.

Восевы комплекс органаў зародка вызначае двухбаковую сіметрыю цела. Стадыя, на якой ажыццяўляецца закладка восевых органаў, называецца **нейрулай**.

З трох зародкавых лісткоў фарміруюцца ўсе тканкі і органы жывёл. У пазваночных з эктадэрмы ўтвараюцца нервовая сістэма, органы пачуццяў, эпідэрміс скуры з залозамі і вытворнымі структурамі (валасы, пер’е, кіпцюры, капыты і інш.). З энтадэрмы фарміруюцца органы стрававальнай і дыхальнай сістэм, шчытападобная залоза, плавальны пузыр (у *касцявых рыб*). З мезадэрмы развіваюцца ўсе віды тканак унутранага асяроддзя, апорна-рухальны апарат, крывяносная, выдзяляльная і палавая сістэмы.

Узаемны ўплыў частак зародка, які развіваецца. Працэс дыферэнцыроўкі клетак у значнай ступені абумоўлены ўплывам адной на другую частак зародка, які развіваецца. Так, пры вывучэнні эмбрыянальнага развіцця жабы было ўстаноўлена, што строга вызначаныя клеткі, якія займаюць адпаведнае месца ў бластуле, даюць пачатак строга вызначаным зачаткам органаў. Удалося высветліць, якія групы клетак даюць пачатак нервовай трубцы, хордзе, мезадэрме, скурнаму эпітэлію. Чым жа выклікаецца пераўтварэнне тых або іншых клетак зародка ў канкрэтныя тканкі і органы?

Упершыню вывучэннем гэтага працэсу заняўся нямецкі вучоны Г. Шпеман (1869—1941), які ў 1935 г. за свае даследаванні быў узнагароджаны Нобелеўскай прэміяй. У адным з доследаў на стадыі ранняй гаструлы ён выразаў частку зачатка мезадэрмы ў аднаго зародка жабы і перасадзіў яго пад эктадэрму другому зародку. У месцы кантакту ў другога зародка сфарміравалася дадатковая нервовая трубка. Значыць, у працэсе развіцця адзін зачатак уплывае на другі, вызначае шлях яго развіцця. Такая з’ява была названа эмбрыянальнай індукцыяй. Эмбрыянальная індукцыя (ад лац. *індуктус* — пабуджэнне) з’яўляецца важнейшым фактарам развіцця ўсіх мнагаклетачных жывёл. Яна рэалізуецца як на тканкавым узроўні, так і на ўзроўні асобных клетак.

?

1. Што такое антагенез? Якія перыяды антагенезу выдзяляюць у жывёл?
2. Чым драбленне адрозніваецца ад звычайнага дзялення клетак?
3. Апішыце будову бластулы, гаструлы і нейрулы. У чым заключаюцца асноўныя адрозненні паміж гэтымі стадыямі?
4. Якіх жывёл называюць першаснаротымі? Другаснаротымі? У чым заключаецца галоўнае адрозненне паміж імі?

5. Як адбываецца закладка восевага комплексу органаў у хордавых жывёл?
6. Якія тканкі і органы развіваюцца ў пазваночных жывёл з эктадэрмы? З энтадэрмы? З мезадэрмы?
7. Зігота пасля першага мітозу дае пачатак двум ідэнтычным бластамерам. У доследах з зародкамі жаб гэтыя бластамеры аддзялялі адзін ад другога — з кожнага развіваўся паўнацэнны апалонік. Калі ж адзін з двух бластамераў разбуралі, але не ізалявалі ад другога, з адзінага жывога бластамера пачынала развівацца толькі палавіна цела зародка. Які вывад можна зрабіць з гэтых вопытаў?
8. Калі на стадыі бластулы перасадзіць некалькі бластамераў з аднаго ўчастка зародка ў другі, то з перамешчаных клетак развіваюцца структуры, характэрныя для месца перасадкі. Напрыклад, з клетак будучай эктадэрмы, перасаджаных у вобласць будучай энтадэрмы, развіваецца сценка кішэчніка і г. д. Калі ж праводзіць перасадкі на стадыі нейрулы, то клеткі не мяняюць напрамак свайго развіцця. З клетак эктадэрмы развіваюцца вытворныя эктадэрмы незалежна ад месца, у якім яны былі перасаджаны. Таксама паводзяць сябе клеткі энта- і мезадэрмы. Паспрабуйце даць тлумачэнне дадзеным фактам.

§ 38. Постэмбрыянальнае развіццё жывёл

Постэмбрыянальнае развіццё і яго перыяды. Пасля з'яўлення арганізма на свет пачынаецца яго **постэмбрыянальнае**, або **паслязародкавае, развіццё**, якое ў розных відаў арганізмаў працягваецца ад некалькіх дзён да сотняў гадоў. Яно ўключае тры асноўныя перыяды — ювенільны, перыяд сталасці і перыяд старасці, які заканчваецца смерцю.

Ювенільны перыяд (ад лац. *ювентус* — юны) працягваецца да дасягнення палавога выспявання. Для гэтага перыяду характэрна прамое або непрамое развіццё.

Пры **прамым** развіцці з яйца або з цела маці выходзіць асобіна, падобная на дарослую, але значна меншых памераў (у *млекакормячых, птушак, паўзуноў,* некаторых *беспазваночных жывёл*). У гэтым выпадку ювенільны перыяд зводзіцца ў асноўным да росту і палавога выспявання маладых асобін.

Пры **непрамым** развіцці арганізм, які з'явіўся на свет, па будове і спосабе жыцця адрозніваецца ад дарослых асобін і называецца л і ч ы н к а й. Вылучаюць два тыпы непрамога развіцця — з поўным і няпоўнымператварэннем (метамарфозам).

Поўны метамарфоз характэрны для насякомых, лічынкі якіх прынцыпова адрозніваюцца ад дарослых асобін знешняй і ўнутранай будовай, характарам жыўлення, а ў некаторых выпадках і асяроддзем пражывання (напрыклад, *матылькі, жукі, двухкрылыя, перапончатакрылыя*). Лічынкі ўзмоцнена кормяцца, растуць, а затым ператвараюцца ў нерухомых к у к а л а к. У стадыі, калі кукалкі знаходзяцца ў спакоі, лічыначныя органы распадаюцца, пасля чаго клетачны матэрыял і назапашаныя пажыўныя рэчывы выкарыстоўваюцца для фарміравання органаў дарослага насякомага (мал. 84).

Мал. 84. Развіццё з поўным метамарфозам

Пры развіцці з **няпоўным метамарфозам** ператварэнне лічынкі ў дарослую асобіну адбываецца паступова, стадыя кукалкі адсутнічае. Такі тып развіцця характэрны для некаторых *чарвякоў, малюскаў* і *членістаногіх* (напрыклад, *кляшчоў, стракоз, прамакрылых*), а таксама для *рыб* і *земнаводных*.

У *жабы*, напрыклад, з ікрынкі развіваецца лічынка (апалонік), якая адрозніваецца ад дарослай жывёлы па будове, спосабе і асяроддзі пражывання (мал. 85). У апалоніка, як у рыб, ёсць жабры, орган бакавой лініі, хвост, двухкамернае сэрца, адзін круг кровазвароту. Лічынка корміцца, расце і з цягам часу ператвараецца ў жабу.

Наяўнасць лічыначнай стадыі ў развіцці земнаводных і многіх іншых жывёл забяспечвае ім магчымасць жыць у розным асяроддзі і выкарыстоўваць розныя крыніцы кармлення. Так, апалонік жыве ў вадзе і корміцца расліннай ежай,

Мал. 85. Развіццё з няпоўным метамарфозам

а жаба вядзе ў асноўным наземны спосаб жыцця і спажывае жывёльную ежу. Такая з'ява назіраецца таксама ў многіх насякомых.

Змена асяроддзя пражывання і, як вынік, змена спосабу жыцця жывёлы пры пераходзе яе ад лічынкавай стадыі да дарослага арганізма зніжае ўнутраную канкурэнцыю. Акрамя таго, у некаторых маларухомых або прымацаваных жывёл (*каралавыя паліпы, вустрыцы, мідыі* і інш.) свабоднаплаваючая лічынка садзейнічае рассяленню віду, пашырэнню яго арэала. Гэта дазваляе пазбегнуць перанасялення, якое выклікае ўзмацненне канкурэнцыі за корм і іншыя рэсурсы, што пагражае выжыванню віду.

Пасля ювенільнага перыяду арганізм уступае ў **перыяд сталасці**, які ў *пазваночных жывёл*, як правіла, займае большую частку жыцця. На гэтым этапе ў большасці жывёл спыняецца рост і ўтварэнне новых органаў. Перыяд сталасці характарызуецца пастаянствам абмену рэчываў, адносна стабільным гарманальным фонам, у арганізме адбываюцца працэсы самаабнаўлення зношаных або пашкоджаных структур. У гэты перыяд адбываецца размнажэнне арганізмаў і з'яўленне ў іх патомства.

Перыяд старасці — заключны этап постэмбрыянальнага развіцця (і антагенезу ў цэлым), які заканчваецца смерцю арганізма. Старэнне ўласціва ўсяму жывому. У розны час у розных відаў пачынаюцца заканамерныя ўзроставыя змяненні, якія зніжаюць адаптацыйныя магчымасці арганізма і павышаюць верагоднасць смерці.

Працэс старэння закранае розныя структуры. Назапашваюцца змяненні ў малекулах ДНК, мяняецца сінтэз РНК і бялкоў, закранаецца энергетычны абмен і г. д. Памяншаецца мітатычная актыўнасць клетак, парушаецца мембранны транспарт, значыць, змяняецца і функцыянаванне клетачных арганоідаў. Аслабляюцца функцыі сістэм органаў — нервовай, эндакрыннай, крывяноснай і інш.

Існуе мноства гіпотэз аб механізмах старэння. Паводле адной з іх, старэнне — запраграмаваны працэс, у выніку якога актыўнасць генаў з узростам зніжаецца. Паводле другой гіпотэзы, старэнне з'яўляецца вынікам назапашвання пашкоджанняў генетычнага апарату клетак у працэсе антагенезу. Варта адзначыць, што ў цяперашні час няма адзінай агульнапрынятай тэорыі старэння.

Паняцце аб жыццёвым цыкле. **Жыццёвы цыкл**, або **цыкл развіцця**, — гэта сукупнасць усіх стадый развіцця арганізма, прайшоўшы якія ён дасягае сталасці і здольны даць пачатак наступнаму пакаленню. Адрозніваюць простыя і складаныя жыццёвыя цыклы.

П р о с т ы жыццёвы цыкл характэрны для жывёл з прамым постэмбрыянальным развіццём. С к л а д а н ы цыкл развіцця ажыццяўляецца з метамарфозам або чаргаваннем пакаленняў. Пры развіцці з метамарфозам жыццёвы цыкл

прасочваецца на працягу развіцця адной асобіны (напрыклад, у *матылька*: яйцо → лічынка → кукалка → дарослая асобіна, гл. мал. 84). Пры развіцці са зменай пакаленняў або зменай спосабаў размнажэння жыццёвы цыкл прасочваецца на некалькіх асобінах розных пакаленняў да з'яўлення зыходнай формы. Напрыклад, строгае чаргаванне ў жыццёвым цыкле пакаленняў, якія размнажаюцца бясполым і палавым спосабамі, назіраецца ва ўсіх *раслін* (бясполае пакаленне — спарафіт, палавое — гаметафіт), некаторых *пратыстаў* і *кішачнаполасцевых*. У прадстаўнікоў плоскіх чарвякоў (*смактуны*), некаторых членістаногіх (*тлі*, *дафніі*) у жыццёвым цыкле чаргуюцца пакаленні, якія размнажаюцца з апладненнем і шляхам партэнагенезу.

?

1. Якія перыяды постэмбрыянальнага развіцця выдзяляюць у жывёл?

2. Чым адрозніваецца прамое развіццё жывёл ад непрамога? Назавіце перавагі і недахопы прамога і непрамога развіцця.

3. Як ажыццяўляецца поўнае і няпоўнае ператварэнне? Прывядзіце прыклады.

4. Якое біялагічнае значэнне наяўнасці лічынкавай стадыі ў развіцці насякомых, земнаводных і іншых груп жывёл?

5. Якія працэсы адбываюцца ў ходзе старэння жывёл і чалавека?

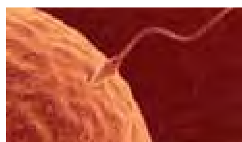
6. Што такое жыццёвы цыкл? Прывядзіце прыклады простых і складаных жыццёвых цыклаў.

7. Існуюць дзясяткі гіпотэз, якія тлумачаць прычыны і механізмы старэння. Паводле адной з іх, старэнне запраграмавана генетычна. Прыхільнікі другой гіпотэзы звязваюць старэнне з назапашваннем пашкоджанняў генетычнага матэрыялу клетак. Якія яшчэ гіпотэзы можна прапанаваць? Аргументуйце іх.

§ 39. Антагенез чалавека

Унутрыўлоннае развіццё чалавека пачынаецца пасля апладнення, якое звычайна адбываецца ў адной з матачных труб (яйцаводаў). Дзякуючы скарачэнню мышачнай сценкі матачнай трубы і руху раснічак яе эпітэлію зародак, які развіваецца, перамяшчаецца ў бок маткі. Гэты шлях займае каля 5 дзён. Ужо праз некалькі гадзін пасля апладнення пачынаецца драбленне зіготы: спачатку ўтвараюцца два бластамеры, потым чатыры і г. д. (мал. 86). На 3—4-ы дзень пасля зачацця зародак становіцца падобным на плод ажын, гэтая стадыя называецца морулай. За ёй ідзе стадыя бластацысты (знешне нагадвае бластулу ланцэтніка).

Дасягнуўшы мэты свайго падарожжа — маткі, зародак пагружаецца ў яе слізістую абалонку і замацоўваецца ў ёй. Гэты працэс пачынаецца на 7-я суткі пасля апладнення і называецца імплантацыяй зародка. Адбываецца гаструляцыя, і ўтвараюцца два зародкавыя лісткі — эктадэрма і энтадэрма. Хутка закладваецца трэці зародкавы лісток — мезадэрма. Адначасова з гэтым

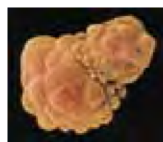


Апладненне

1 суткі
Зігота

3 сутак
Морула

5 сутак
Бластацыста



7 сутак
Гаструла

3 тыдні
Пачынае скарачацца сэрца

5 тыдняў
Закладваюцца ўнутраныя органы (печань, страўнік, ныркі і інш.)

7 тыдняў
Інтэнсіўна фарміруюцца мышцы і шкілет

8 – 9 тыдняў
Даўжыня плода 3 – 5 см

11 тыдняў
Працягваецца развіццё ўсіх сістэм арганізма

12 тыдняў
Інтэнсіўна развіваецца нервовая сістэма

16 тыдняў
Плод хутка расце, рухае ручкамі і пераварочваецца

18 тыдняў
Даўжыня плода 20 см, маці адчувае яго рухі

8 месяцаў
Завяршальны перыяд развіцця

9 месяцаў
Нараджэнне чалавека

Мал. 86. Этапы эмбрыянальнага развіцця чалавека

фарміруюцца абалонкі зародка. Унутраная абалонка тонкая і празрыстая, яна ўтварае пузыр з вадкасцю, у якім плавае зародак. Гэтая абалонка ахоўвае зародак ад трасення і вібрацыі. Вонкавая абалонка ўтварае варсінкі, з дапамогай якіх будзе ажыццяўляцца харчаванне і дыханне арганізма, які развіваецца.

На 2-м тыдні ў плода фарміруюцца восевыя органы — нервовая трубка, хорда і кішэчная трубка. Гэты тыдзень вельмі адказны, бо менавіта ў гэты перыяд закладваюцца галоўныя сістэмы і органы будучага дзіцяці. З нервовай трубкі будзе развівацца нервовая сістэма, з кішэчнай трубкі — стрававальная. З'яўляюцца зачаткі іншых сістэм — дыхальнай, выдзяляльнай, крывяноснай. На 21-ы дзень у зародка пачынае біцца маленькае сэрца.

К канцу другога месяца ўнутрыўлоннага развіцця зародак ужо знешне падобны на чалавека, хоць яго даўжыня складае ўсяго 3 см. Варсінкі знешняй абалонкі зародка прымаюць удзел у фарміраванні плацэнты. Заканчваецца **зародкавы** перыяд унутрыўлоннага развіцця, які працягваўся 8 тыдняў, пачынаецца **плодны** перыяд (з 9-га па 40-ы тыдзень).

Плацэнта развіваецца ў выглядзе дыска, трывала ўмацаванага ў слізістай абалонцы маткі. Праз сценкі капіляраў варсінак плацэнты адбываецца абмен газамі і пажыўнымі рэчывамі паміж арганізмам маці і плодам. Кроў маці і плода ніколі не змешваюцца. Праз некалькі тыдняў пасля пачатку плоднага перыяду плацэнта застаецца звязанай з зародкам толькі пупавінай, або пупочным канацікам, які мае даўжыню да 40 см.

Плацэнта — адзіны орган, які складаецца з клетак двух арганізмаў: маці і плода. Пупавіна — гэта частка плода. Праз яе праходзяць крывяносныя сасуды, якія ўваходзяць у састаў крывяноснай сістэмы зародка і нясуць кроў у абодвух напрамках: ад плода да плацэнты і ад плацэнты да плода. Сасуды плацэнты аддзелены ад капіляраў маткі тонкай мембранай, праз якую ажыццяўляецца абмен рэчываў паміж плодам, які развіваецца, і арганізмам маці.

Ад маці да плода паступаюць пажыўныя рэчывы, вада, мінеральныя солі, вітаміны, антыцелы, кісларод. Ад плода да маці — лішкі вады, вуглякіслы газ і іншыя канчатковыя прадукты абмену рэчываў. Праз плацэнту могуць перадавацца таксама і шкодныя фактары (бактэрыі, вірусы, яды, лекавыя прэпараты), іх уздзеянне часткова нейтралізуецца антыцеламі, якія ўтрымліваюцца ў крыві, антытаксінамі і г. д.

К тром месяцам унутрыўлоннага развіцця фарміруюцца амаль усе органы. У гэты час можна вызначыць пол будучага дзіцяці. З 13-га тыдня цяжарнасці плацэнта, акрамя выканання сваёй асноўнай функцыі, пачынае выдзяляць гармоны, якія забяспечваюць нармальнае працяканне цяжарнасці, а таксама рыхтуюць арганізм маці да родаў і лактацыі (выпрацоўкі малака).

На 4—5-м месяцы цяжарнасці праслухоўваюцца скарачэнні сэрца плода, частата якіх у 2 разы вышэйшая, чым у маці. У гэты перыяд плод хутка расце і к 5 месяцам дасягае масы каля 500 г, а к моманту нараджэння — 3—4 кг. Працягласць цяжарнасці ў жанчын складае каля 280 дзён (40 тыдняў, або 10 месячных месяцаў).

Уплыў умоў навакольнага асяроддзя на ўнутрыўлоннае развіццё дзіцяці. Развіццё арганізма ўяўляе сабой складанае спалучэнне такіх працэсаў, як дзяленне клетак, іх перамяшчэнне і ўзаемадзеянне, фарміраванне тканак і органаў. Любое змяненне гэтых працэсаў можа выклікаць парокі развіцця арганізма. Такія парушэнні могуць узнікаць пад уздзеяннем розных пашкоджваючых фактараў. Да іх адносяцца: іанізуючая радыяцыя, якая выклікае змяненні ў спадчынным апараце клетак; вірусы (напрыклад, у жанчын, якія перанеслі адзёрную краснуху ў першай трэці цяжарнасці, часта нараджаюцца дзеці з захворваннямі сэрца, глухатой, катарактай — памутненнем хрусталіка вока); розныя мікраарганізмы (напрыклад, узбуджальнік сіфілісу здольны выклікаць прыроджаную глухату); некаторыя лекавыя прэпараты.

У бацькоў, якія злоўжываюць алкаголем, часта нараджаюцца дзеці з затрымкай у фізічным і разумовым развіцці, з парокамі развіцця сэрца, галаўнога мозга, палавых органаў і іншымі анамаліямі.

На дзетародныя функцыі чалавека ўплывае курэнне і ўжыванне наркотыкаў: у мужчын, якія кураць, зніжаецца колькасць рухомых сперматазоідаў, а ў жанчын рызыка бясплоднасці ўзрастае на 30 %. Але галоўную шкоду тытунёвы дым наносіць будучаму дзіцяці. Нярэдка дзеці курыльшчыкаў з'яўляюцца на свет з рознымі адхіленнямі — нізкай масай цела, адставаннем у псіхічным развіцці, схільнасцю да розных захворванняў. У жанчын, якія кураць, часцей адбываюцца выкідышы (г. зн. спантаннае перарыванне цяжарнасці), высокая рызыка нараджэння мёртвага дзіцяці.

Парушэнні ў развіцці выклікаюць асабліва тыя фактары, якія дзейнічаюць на працягу пэўных крытычных перыядаў. Пад к р ы т ы ч н ы м разумеюць такі перыяд у развіцці плода, калі той аказваецца максімальна адчувальным да пэўных уздзеянняў. Як правіла, крытычныя перыяды прыпадаюць на тыя этапы развіцця арганізма, калі адбываюцца працэсы фарміравання і актыўнага развіцця асноўных органаў і сістэм. У кожнага органа свой крытычны перыяд, хоць інтэрвал паміж 15-мі і 60-мі суткамі цяжарнасці лічыцца крытычным для многіх органаў. Сэрца фарміруецца паміж 3-м і 4-м тыднямі, у той час як знешнія палавыя органы найбольш адчувальныя да ўздзеяння паміж 8-м і 9-м тыднямі. Нервовая сістэма і шкілет, пачынаючы з 3-га тыдня пасля зачацця і на працягу ўсяго тэрміну цяжарнасці, пастаянна адчувальныя да шкодных уплываў.

Рост і развіццё дзіцяці. Адрозніваюць наступныя перыяды постэмбрыянальнага развіцця дзіцяці: перыяд нованароджанасці, грудны перыяд, ранняе дзяцінства (ясельны перыяд), дашкольны і школьны перыяды. Фарміраванне арганізма заканчваецца к 22—25 гадам.

Першыя чатыры тыдні жыцця лічацца перыядам **нованароджанасці**. Поза нованароджанага нагадвае паставу плода ў матцы. Большую частку сутак дзіця спіць, прачынаючыся толькі на час кармлення. Найбольш гарманічна яно развіваецца пры натуральным грудным выкормліванні. Нованароджаныя дзеці лепш за ўсё засвойваюць бялкі, тлушчы і вугляводы мацярынскага малака.

Падчас **груднога** перыяду (з 5-га тыдня да канца 1-га года жыцця) у рухальнай сістэме дзіцяці адбываецца шмат змяненняў: у канцы 1-га месяца жыцця яно спрабуе выпрастаць ножкі, на 6-м тыдні падымае і ўтрымлівае галоўку, на 6-м месяцы сядзіць, у канцы 1-га года жыцця спрабуе рабіць першыя крокі.

Не менш інтэнсіўна ў гэты перыяд развіваецца і псіхіка дзіцяці. На 2-м месяцы жыцця яно ўсміхаецца, бачачы яркія прадметы і пры з'яўленні маці, к 4-му месяцу бярэ ў рот цацкі, даследуе іх, пачынае адрозніваць дарослых людзей. К канцу 1-га года жыцця дзіця пачынае разумець многія фразы бацькоў.

У перыяд **ранняга дзяцінства** (ад 1 да 3 гадоў) у дзіцяці актыўна развіваюцца рухальныя навыкі. Яно пачынае хадзіць, авалодвае рознымі спосабамі маніпуліравання прадметамі. У гэты перыяд у дзіцяці з'яўляецца імкненне да спазнання свету, цяга да самасцверджання.

Дзеці **дашкольнага ўзросту** (ад 3 да 6 гадоў) праяўляюць вялікую цікавасць да навакольнага свету — гэта стадыя пытанняў, або «чамучны» ўзрост.

Для развіцця мыслення, маўлення і працоўнай дзейнасці асабліва важны перыяд ад 2 да 4 гадоў. Калі ён упушчаны, то ўзнікае адставанне ў псіхічным і фізічным развіцці.

У час **школьнага** перыяду (ад 6 да 17—18 гадоў) адбываецца якаснае змяненне ўсёй дзейнасці чалавека. Вучні малодшых класаў павольна і з цяжкасцямі выконваюць складаныя і дакладныя рухі. Канчатковае фарміраванне рухальнай дзейнасці заканчваецца к 18 гадам.

Фізіялагічнай асаблівасцю сардэчна-сасудзістай сістэмы падлетка з'яўляецца адставанне росту сасудаў (іх папярочнага сячэння) ад росту сэрца. Гэта нярэдка прыводзіць да расстройстваў кровазвароту, узнікаюць галавакружэнне, павышаны крывяны ціск, парушэнні работы сэрца. Асабліва моцна гэта праяўляецца ў перыяд **палавога выспявання**. У падлеткаў павялічваецца ўзбуджальнасць, узнікае павышаная раздражняльнасць, назіраецца расстройства сну. Узмоцненае выдзяленне гармонаў падтрымлівае ў арганізме стан высокай актыўнасці. Адбываюцца сур'ёзныя змяненні ў будове і функцыянаванні арганізма. К 18 гадам большасць

фізіялагічных функцый маладога чалавека набліжаецца па паказчыках да функцый дарослага.

У апошнія дзесяцігоддзі ва ўсіх эканамічна развітых краінах паскорыліся тэмпы фізічнага (у тым ліку і палавога) развіцця дзяцей і падлеткаў. Гэтая з'ява атрымала назву **акселерацыі**. Прычыны акселерацыі складаныя і да канца не высветлены. Да іх, магчыма, адносяцца змяненні ў харчаванні, прыём вітамінаў, заняткі спортам, штучнае павелічэнне светлавога дня і інш. Найбольш ярка акселерацыя праяўляецца ў павелічэнні (у параўнанні з сярэднімі паказчыкамі) росту, масы цела, акружнасці груднай клеткі і г. д. Разам з тым раней спыняецца рост: у сучасных юнакоў у 18—20, а 70 гадоў таму — у 24—26 гадоў. Для сучаснай моладзі характэрна і больш ранняе палавое выспяванне. Гэта патрабуе асаблівай увагі з боку бацькоў і педагогаў, выхавання адпаведных норм паводзін, паколькі ранняе фізічнае развіццё сучасных дзяцей не вядзе да паскарэння іх псіхалагічнага выспявання.

?

1. Якая працягласць эмбрыянальнага развіцця чалавека? Якія перыяды яно ўключае?

2. Якія падзеі адбываюцца на працягу зародкавага перыяду ўнутрыўлоннага развіцця чалавека? Якія асаблівасці пладнага перыяду ўнутрыўлоннага развіцця? З чаго ён пачынаецца?

3. Што ўяўляе сабой плацэнта? Якія функцыі яна выконвае?

4. Якія ўмовы жыцця бацькоў, асабліва маці, уплываюць на фарміраванне і развіццё плода?

5. Што ўяўляюць сабой крытычныя перыяды развіцця? Якія крытычныя перыяды ўнутрыўлоннага развіцця чалавека вам вядомы?

6. Назавіце і ахарактарызуйце асноўныя этапы развіцця чалавека ад нараджэння да перыяду сталасці.

7. Што такое акселерацыя? Якія яе магчымыя прычыны?

8. Даследаванні паказваюць, што працягласць жыцця людзей у свеце з кожным годам узрастае. Як вы думаеце, з чым гэта звязана? Чаму жанчыны ў сярэднім жывуць больш за мужчын?

Глава 6 Спадчыннасць і зменлівасць арганізмаў

§ 40. Заканамернасці наследавання прымет, устаноўленыя Г. Мендэлем. Монагібрыднае скрыжаванне. Першы і другі законы Мендэля

Паняцце аб спадчыннасці і зменлівасці. **Спадчыннасць** — гэта ўласцівасць усіх жывых арганізмаў захоўваць і перадаваць свае прыметы і ўласцівасці наступным пакаленням. Дзякуючы гэтаму кожны від жывых арганізмаў на працягу доўгага часу захоўвае характэрныя для яго рысы.

Перадача генетычнай (спадчыннай) інфармацыі ад аднаго пакалення да другога называецца **спадчыннасцю**. У арганізмаў, якім уласціва палавое размнажэнне, ключавую ролю ў спадчыннасці адыгрываюць такія працэсы, як меёз і апладненне. У ходзе меёзу ў кожнага з бацькоў адбываецца перакамбінацыя спадчыннага матэрыялу і яго размеркаванне паміж гаметамі. Вынікам апладнення з'яўляецца аб'яднанне генетычнай інфармацыі, якая змяшчаецца ў гаметах абодвух бацькоў, і фарміраванне спадчыннага апарату новага арганізма.

Як вам вядома, участкі малекулы ДНК, якія змяшчаюць інфармацыю аб структуры пэўных бялкоў (або рРНК, або тРНК), называюцца **генамі**. Гены размешчаны ў храмасомах. У працэсе рэалізацыі спадчыннай інфармацыі, якая змяшчаецца ў генах, ажыццяўляецца сінтэз пэўных бялкоў. Кожны бялок выконвае пэўную функцыю, што вядзе да праяўлення той або іншай прыметы арганізма.

Зменлівасць — гэта здольнасць арганізмаў у працэсе жыццядзейнасці набываць новыя прыметы пад уздзеяннем розных фактараў асяроддзя. Дзякуючы зменлівасці асобіны ў межах віду адрозніваюцца паміж сабой.

Спадчыннасць і зменлівасць арганізмаў вывучае **генетыка**. Асноўным метадам даследаванняў у генетыцы з'яўляецца гібрыдалагічны метад, які заключаецца ў пэўнай сістэме скрыжаванняў арганізмаў, што адрозніваюцца адзін ад другога па адной, некалькіх або многіх парах альтэрнатыўных прымет з наступным аналізам патомства.

Акрамя таго, выкарыстоўваюцца цытагенетычны (мікраскапічнае вывучэнне храмасом), біяхімічны (даследаванне саставу нуклеінавых кіслот, бялкоў і іншых рэчываў у клетках арганізмаў), генеалагічны (аналіз радаслоўных чалавека і жывёл, які дазваляе ўстанаўліваць характар наследавання прымет, вызначаць верагоднасць іх праяўлення ў наступных пакаленнях) і іншыя метады.

Мендэль Грэгар Іаган (1822—1884) — выдатны аўстрыйскі вучоны-прыродазнавец. Заснавальнік вучэння аб спадчыннасці. Упершыню выявіў існаванне спадчынных фактараў, названых у далейшым генамі.

У генетыцы шырока прымяняюцца таксама статыстычныя метады аналізу, якія дазваляюць высвятляць заканамернасці наследавання прымет і праяўлення зменлівасці ў жывых арганізмаў.

Вывучэнне спадчыннасці Грэгарам Мендэлем. Асноўныя заканамернасці наследавання прымет упершыню раскрыў аўстрыйскі даследчык, манах Аўгусцінскага манастыра Г. Мендэль у 1855 — 1865 гг. Ён паставіў перад сабой задачу — высветліць, як наследуюцца асобныя прыметы. Для гэтага Г. Мендэль прымяніў гібрыдалагічны метад.

Удачна быў выбраны Мендэлем і аб'ект даследавання — *гарох пасяўны*. Гэтая расліна лёгка культывуецца, непераборлівая, дае шматлікае патомства. З мноства сартоў гароху Г. Мендэль выбраў тыя, якія выразна адрозніваліся па сямі парах альтэрнатыўных прымет (мал. 87). На працягу двух гадоў Г. Мендэль правяраў «чысціню» кожнага сорту. Для гэтага ён даў раслінам магчымасць самаапыляцца (гарох — самаапыляльная расліна) і выкарыстаў у сваіх даследаваннях такія сарты, у якіх патомкі ў шэрагу пакаленняў не змяняліся па знешнім выглядзе, г. зн. захоўвалі прыметы бацькоўскіх форм. У далейшым такія групы арганізмаў былі названы **чыстымі лініямі**.

Такім чынам, для правядзення скрыжаванняў Г. Мендэль выбіраў расліны чыстых ліній, якія адрозніваліся па парах альтэрнатыўных прымет. У сваёй працы ён спачатку аналізаваў наследаванне адной пары прымет, затым дзвюх і г. д. Важна тое, што Г. Мендэль праводзіў дакладны ўлік колькасці патомкаў, якія атрымлівалі ў спадчыну розныя бацькоўскія прыметы. Гэта дазволіла яму вызначыць колькасныя заканамернасці наследавання прымет.

Скрыжаванне арганізмаў называецца **гібрыдызацыяй**, а нашчадкі ад скрыжавання дзвюх бацькоўскіх асобін з рознымі прыметамі — **гібрыдамі**.

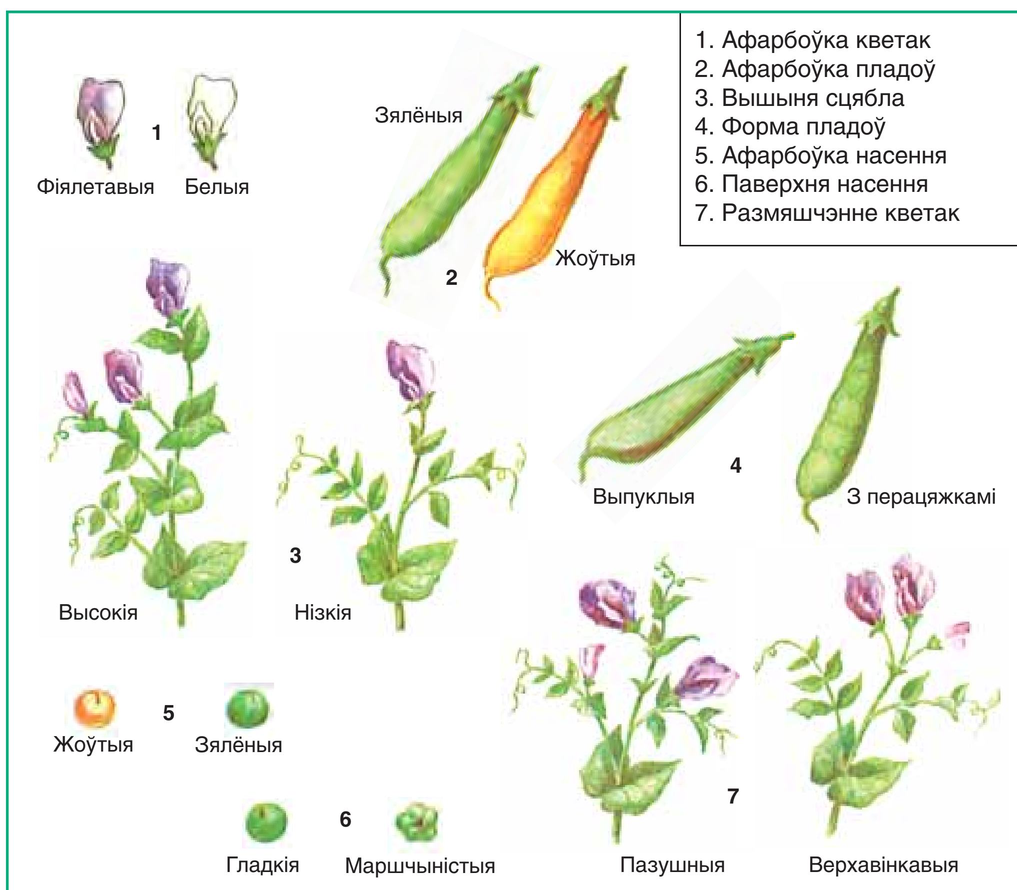
Для запісу скрыжаванняў выкарыстоўваецца міжнародная сімволіка:

P — бацькоўскія асобіны (ад лац. *parentes* — бацька);

♀ — жаночая асобіна; ♂ — мужчынская асобіна; G — гаметы;

F — патомства (ад лац. *filiale* — даччыны) з адпаведнымі індэксамі пакаленняў: F_1, F_2, F_3 і г. д;

значок «×» абазначае скрыжаванне.



Мал. 87. Пары альтэрнатыўных прымет гароху, наследаванне якіх вывучаў Г. Мендэль

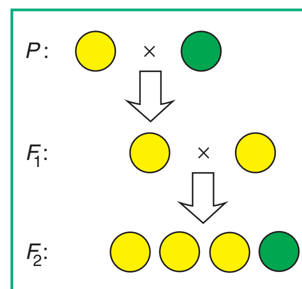
Монагібрыднае скрыжаванне. Закон аднолькавасці гібрыдаў першага пакалення. Скрыжаванне, пры якім бацькоўскія арганізмы адрозніваюцца адзін ад другога па адной пары альтэрнатыўных прымет, называецца **монагібрыдным**.

У адным з доследаў Г. Мендэль вывучаў наследаванне афарбоўкі насення гароху. Ён скрыжоўваў расліны, вырашчаныя з жоўтага насення, з раслінамі, вырашчанымі з насення зялёнага колеру. Каб прадухіліць самаапыленне, Г. Мендэль у раслін аднаго сорту гароху выдаляў у кветках тычынкі, у другога — песцікі і праводзіў гібрыдызацыю шляхам штучнага апылення.

Вынікі скрыжавання былі адназначныя: ва ўсіх гібрыдных раслін першага пакалення насенне аказалася жоўтым незалежна ад таго, мацярынскай або бацькоўскай

каўскай была расліна з такім насеннем. Зялёная афарбоўка насення ў гібрыдаў першага пакалення не праявілася (мал. 88):

P: ♀ жоўтае насенне × ♂ зялёнае насенне
F_1: усе расліны маюць жоўтае насенне



Мал. 88. Схема монагібрыднага скрыжавання

Пры скрыжаванні раслін, якія адрозніваюцца па другіх парах альтэрнатыўных прымет, напрыклад па афарбоўцы кветак або форме пладоў (гл. мал. 87), Г. Мендэль выявіў, што ва ўсіх выпадках у гібрыдаў першага пакалення праяўлялася толькі адна з дзвюх альтэрнатыўных прымет. З'ява перавагі адных прымет над другімі была названа **дамінаваннем**, а пераважныя прыметы — **дамінантнымі**. Прыметы, якія не праяўляліся ў гібрыдаў першага пакалення, атрымалі назву **рэцэсіўных**.

Адкрытая Г. Мендэлем заканамернасць потым была названа **законам аднолькавасці гібрыдаў першага пакалення** або **першым законам Мендэля**.

Гэты закон гучыць наступным чынам: **пры скрыжаванні асобін чыстых ліній, якія адрозніваюцца па адной пары альтэрнатыўных прымет, гібрыды першага пакалення будуць аднолькавымі па дамінантнай прымеце**.

Закон расшчаплення. Шляхам самаапылення гібрыдаў першага пакалення Г. Мендэль атрымаў другое пакаленне, у якім $\frac{3}{4}$ раслін мелі гарошыны жоўтага колеру і $\frac{1}{4}$ — гарошыны зялёнага колеру. З'яўленне ў патомстве асобін, якія адрозніваюцца па альтэрнатыўных прыметах, называецца **расшчапленнем**. У дадзеным выпадку назіралася расшчапленне **3 : 1** (гл. мал. 88).

Такое ж расшчапленне было выяўлена і пры даследаванні другіх пар альтэрнатыўных прымет: у другім пакаленні ў $\frac{3}{4}$ раслін праяўляліся дамінантныя прыметы, а ў $\frac{1}{4}$ — рэцэсіўныя.

Значыць, рэцэсіўная прымета ў гібрыдаў першага пакалення не знікала, а толькі была падаўлена і зноў праяўлялася ў другім пакаленні. Гэтае абагульненне пазней было названа **законам расшчаплення** або **другім законам Мендэля**, які гучыць так: **пры скрыжаванні гібрыдаў першага пакалення паміж сабой у другім пакаленні назіраецца расшчапленне па альтэрнатыўных прыметах у суадносінах: 3 часткі асобін з дамінантнай прыметай да 1 часткі асобін з рэцэсіўнай прыметай**.

Неабходна адзначыць, што ідэальных суадносін 3 : 1 звычайна не выяўлялася ні ў адным доследзе. Напрыклад, вывучаючы расшчапленне па афарбоўцы насення, Г. Мендэль даследаваў 8023 гарошыны і атрымаў суадносіны: 6022 жоўтыя і 2001 зялёная, што вельмі блізка да суадносін 3 : 1. Толькі статыстычны аналіз дазволіў выявіць характар расшчаплення.

Шматлікімі даследаваннямі шэрага вучоных у наступныя гады быў устаноўлены ўніверсальны характар законаў Мендэля. Ім падпарадкоўваюцца ўсе жывыя арганізмы, у тым ліку і чалавек, у якога вывучана і апісана шмат пар альтэрнатыўных прымет.

?

1. Што вывучае генетыка? Што такое спадчыннасць і якое яе біялагічнае значэнне?
2. Растлумачце, якім чынам гены вызначаюць развіццё прымет.
3. Ахарактарызуйце асноўныя метады даследаванняў, якія выкарыстоўваюцца ў генетыцы.
4. Што такое дамінантная і рэцэсіўная прыметы?
5. Якія законы ўстанавіў Г. Мендэль на аснове монагібрыднага скрыжавання? Сфармулюйце іх.
6. Паспрабуйце на прыкладзе вашай сям'і і сем'яў блізкіх сваякоў прааналізаваць наследаванне некаторых прымет чалавека. Гэта можа быць, напрыклад, колер валасоў і вачэй, даўжыня веек, таўшчыня губ, наяўнасць або адсутнасць вяснушак (або ямачкі на падбародку), здольнасць або няздольнасць скручваць язык трубачкай і г. д. Паспрабуйце выявіць дамінантныя і рэцэсіўныя прыметы. Якім чынам гэта можна зрабіць?
7. Ці можна сцвярджаць, што з пары альтэрнатыўных прымет дамінантнай заўсёды з'яўляецца тая, якая праяўляецца ў большасці асобін таго або іншага віду? Чаму?

§ 41. Цыталагічныя асновы наследавання прымет пры монагібрыдным скрыжаванні

Паняцце аб дамінантных і рэцэсіўных генах. У ходзе сваіх далейшых даследаванняў Г. Мендэль даў раслінам другога пакалення магчымасць самаапыляцца. Ён хацеў высветліць, як будзе ажыццяўляцца наследаванне прымет у наступных пакаленнях.

У раслін, якія выраслі з насення зялёнага колеру, патомства наследавала толькі зялёную афарбоўку гарошын. Аднак расліны, атрыманыя з жоўтага насення, паводзілі сябе інačай. З іх $\frac{2}{3}$ асобін давалі ў патомстве расшчапленне ў суадносінах 3 жоўтыя да 1 зялёнай, а ў патомстве $\frac{1}{3}$ асобін расшчаплення не было — усе расліны мелі жоўтыя гарошыны. Такія ж вынікі былі атрыманы і па другіх парах альтэрнатыўных прымет. У чым жа прычына расшчаплення? Чаму пры далейшым самаапыленні зноў адбываецца расшчапленне ў строга вызначаных суадносінах?

Для тлумачэння вынікаў сваіх назіранняў Г. Мендэль вылучыў наступную гіпотэзу. Альтэрнатыўныя прыметы вызначаюцца нейкімі спадчыннымі фактарамі, якія перадаюцца ад бацькоў да патомкаў з гаметамі. Г. Мендэль меркаваў, што дамінантная прымета абумоўлена дамінантным фактарам, а рэцэсіўная прымета — рэцэсіўным фактарам. У выніку спадчынныя фактары, адказныя за фарміраванне прымет, сталі называць **генамі**. Дамінантныя гены прынята абазначаць вялікімі літарамі лацінскага алфавіта (напрыклад, A), рэцэсіўныя — малымі (a).

Г. Мендэль меркаваў, што кожнай прымеце канкрэтнай расліны адпавядаюць два фактары, адзін з якіх атрыманы ад бацькаўскай расліны, а другі — ад мацярынскай. Таму ў выніку монагібрыднага скрыжавання, пры якім бацькі адрозніваліся, напрыклад, афарбоўкай насення, усе гібрыды першага пакалення валодалі як спадчынным фактарам A (які вызначае жоўтую афарбоўку), так і фактарам a (адказным за зялёны колер насення). Паколькі фактар A дамінуе над фактарам a, ва ўсіх гібрыдаў праявілася жоўтая афарбоўка насення.

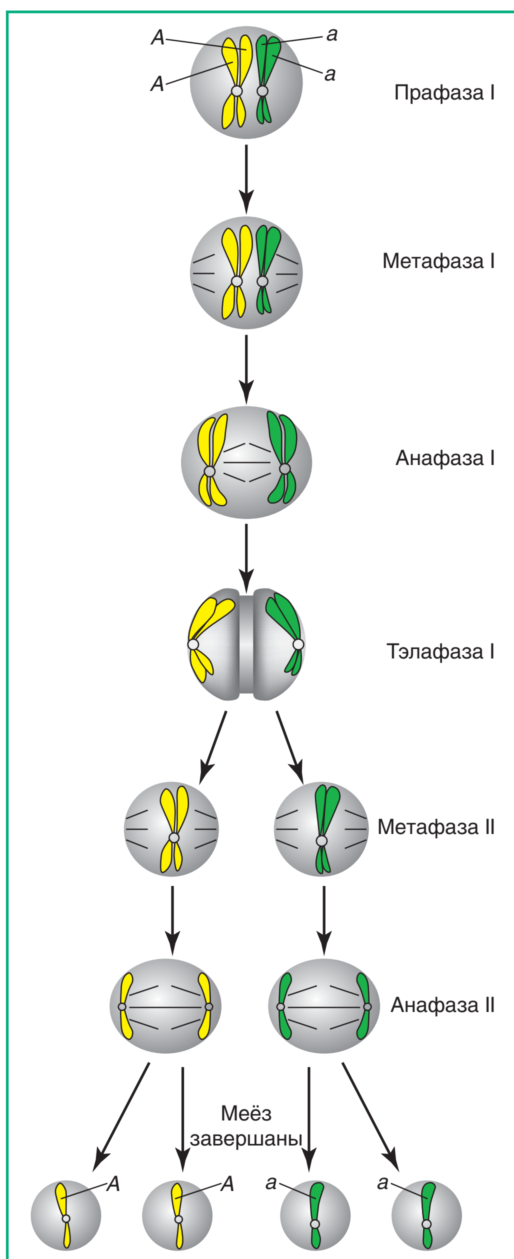
Г. Мендэль таксама меркаваў, што кожны гібрыд першага пакалення ўтварае два тыпы палавых клетак: палавіна гамет змяшчае фактар A, другая палавіна — фактар a. Значыць, парныя спадчынныя фактары пры ўтварэнні палавых клетак раздзяляюцца і ў кожную гамету трапляе які-небудзь адзін з іх.

Паняцце аб алельных генах. Цыталагічныя асновы наследавання прымет пры монагібрыдным скрыжаванні. Толькі пасля таго як былі адкрыты храмасомы, апісаны іх паводзіны пры мітозе і меёзе і даказана, што гены лакалізаваны ў храмасомах, меркаванні Г. Мендэля знайшлі навуковае пацверджанне.

Гены, якія кантралююць розныя (альтэрнатыўныя) формы праяўлення прыметы, называюцца **алелямі** або **алельнымі генамі**. Выяўлена, што **алельныя гены размяшчаюцца ў аднолькавых участках (локусах) гамалагічных храмасом**. Значыць, у любога дыплоіднага арганізма з'яўленне той або іншай прыметы вызначаецца двума алельнымі генамі.

Сукупнасць усіх генаў арганізма называюць **генатыпам**. У адносінах да асобнай прыметы словам «генатып» абазначаюць спалучэнне алельных генаў, якія кантралююць дадзеную прымету. Арганізмы, якія маюць аднолькавыя алельныя гены, называюцца **гомазіготамі**. Адрозніваюць дамінантныя гомазіготы (іх генатып можна запісаць як AA) і рэцэсіўныя гомазіготы (aa). Асобіны, якія маюць розныя алельныя гены, называюцца **гетэразіготамі**, іх генатып можна абазначыць як Aa.

Гаметы ўтвараюцца ў выніку меёзу і ўтрымліваюць гаплоідны набор храмасом. Успомнім, што ў анафазе I гамалагічныя храмасомы, якія змяшчаюць



Мал. 89. Цыталагічныя асновы монагібрыднага скрыжавання

алельныя гены, разыходзяцца да супрацьлеглых полюсаў клеткі, якая дзеліцца, і ў рэшце рэшт трапляюць ў розныя гаметы (мал. 89). Значыць, два алельныя гены не могуць аказацца ў адной і той жа палавой клетцы. У кожную гамету трапляе толькі адзін з іх.

Меркаванне аб тым, што алельныя гены размяркоўваюцца пароўну паміж палавымі клеткамі, не трапляючы абодва ў адну гамету, не разбаўляючыся і не змешваючыся, англійскі генетык У. Бэтсан у 1909 г. назваў **гіпотэзай чыстаты гамет**.

Гомазіготныя арганізмы маюць аднолькавыя алельныя гены, таму ў іх фарміруецца адзін тып гамет: у асобін з генатыпам *AA* усе палавыя клеткі змяшчаюць ген *A*; у арганізмаў з генатыпам *aa* ўсе гаметы змяшчаюць ген *a*. Гетэразіготныя асобіны (*Aa*) утвараюць два тыпы гамет у роўных суадносінах: 50 % палавых клетак змяшчаюць алель *A*, 50 % — алель *a*.

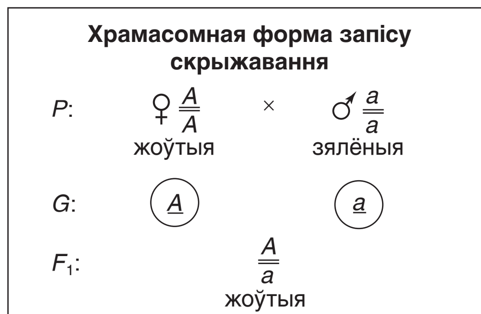
Пры апладненні гаплоідныя гаметы бацькоў зліваюцца з утварэннем дыплоіднай зіготы. У зігоце храмасомы зноў становяцца парнымі. У кожнай пары гамалагічных храмасом адна з'яўляецца мацярынскай, а другая — бацькаўскай. Значыць, у кожнага патомка развіццё якой-небудзь прыметы будзе вызначацца двума алельнымі генамі, прычым адзін з іх унаследаваны ад маці, а другі — ад бацькі.

Вернемся да эксперымента, у якім Г. Мендэль вывучаў наследаван-

не афарбоўкі насення гароху. Абазначым дамінантны ген, які абумоўлівае жоўтую афарбоўку, літарай *A*, і рэцэсіўны ген, які вызначае зялёную афарбоўку, — *a*. Паколькі Г. Мендэль выкарыстаў у якасці бацькоўскіх форм асобіны ч ы с т ы х л і н і й, іх генатыпы трэба запісаць як *AA* і *aa*. Абодва бацькі — гомазіготы, кожны з іх дае гаметы толькі аднаго тыпу: у асобіны з генатыпам *AA* фарміруюцца толькі гаметы *A*, у асобіны з генатыпам *aa* — гаметы *a*.

Зліццё гамет прывяло да ўтварэння зігот, з якіх развіліся гібрыды першага пакалення. Відавочна, што ўсе яны мелі генатып *Aa* і жоўтую афарбоўку насення (дамінантны ген цалкам падавіў праяўленне рэцэсіўнага).

Запішам дадзенае монагібрыднае скрыжаванне. Найбольш распаўсюджанымі формамі запісу скрыжаванняў з'яўляюцца г е н н а я і х р а м а с о м н а я. У першым выпадку гены запісваюцца «ў радок», без указання храмасом (напрыклад, *Aa*). У другім выпадку пры запісе генатыпаў алельныя гены размяшчаюць адзін над другім, пры гэтым дзвюма рыскамі абазначаюць гамалагічныя храмасомы, у якіх гэтыя гены размяшчаюцца (напрыклад, $\frac{A}{a}$). Тут і далей выкарыстайце адну з форм запісу (па ўказанні настаўніка).



Сукупнасць прымет і ўласцівасцей арганізма называюць **фенатыпам**. Калі размова ідзе аб канкрэтным скрыжаванні, паняццем «фенатып» абазначаюць тую прымету (або прыметы), якая ў гэтым скрыжаванні даследуецца. Напрыклад, у разгледжаным выпадку можна сказаць, што гібрыды першага пакалення мелі аднолькавы фенатып — жоўты колер насення.

Гібрыды першага пакалення — гетэразіготы (*Aa*), таму ў іх фарміравалася два тыпы гамет (*A* і *a*) у роўных суадносінах. Зліццё гамет носіць выпадковы характар, г. зн. любую яйцаклетку можа апладніць любы сперматазоід (спермій). Таму пры апладненні фарміраваліся розныя тыпы зігот: *AA*, *Aa* і *aa*.

Каб наглядна паказаць усе варыянты зліцця гамет і разлічыць верагоднасць з'яўлення патомкаў з рознымі генатыпамі (і фенатыпамі), можна пабуда-

F_1: ♀*Aa* × ♂*Aa*

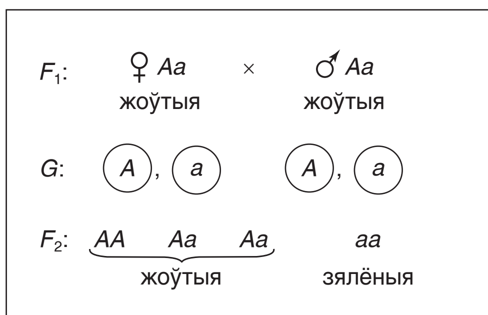
♀ \ ♂	*A*	*a*
A	*AA* жоўтыя	*Aa* жоўтыя
a	*Aa* жоўтыя	*aa* зялёныя

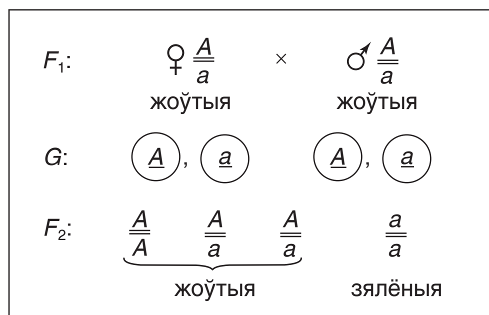
Мал. 90. Рашотка Пенета

ваць спецыяльную табліцу, называемую **р а ш о т к а й П е н е т а** (яе ўпершыню прапанаваў выкарыстаць англійскі генетык Р. П е н е т). У рашотцы Пенета па гарызанталі ўказваюць гаметы аднаго з бацькоў, а па вертыкалі — гаметы другога з бацькоў. У клетках на перасячэнні радкоў і слупкоў запісваюць генатыпы і фенатыпы асобін, якія ўзнікаюць пры зліцці адпаведных гамет (мал. 90).

Як відаць з пабудаванай рашоткі, у гетэразіготных бацькоўскіх форм утвараюцца патомкі з трыма генатыпамі ў суадносінах 1*AA* : 2*Aa* : 1*aa*. Значыць, **расшчапленне паводле генатыпу складае 1 : 2 : 1**. Верагоднасць з’яўлення патомства кожнага тыпу можна паказаць і ў працэнтах: 25 % *AA*, 50 % *Aa* і 25 % *aa*.

Расшчапленне па даследуемай прымеце такое: $\frac{3}{4}$ асобін з жоўтым насеннем (75 %) і $\frac{1}{4}$ — з зялёным (25 %). Значыць, **расшчапленне паводле фенатыпу складае 3 : 1**.





Хоць расліны з жоўтым насеннем знешне выглядаюць аднолькава, генетычна яны неаднародныя (*AA* і *Aa*). Становяцца зразумелымі прычыны розных «паводзін» іх патомства ў наступных пакаленнях. Пры самаапыленні сярод патомкаў дамінантных гомазігот *AA* не будзе назірацца расшчаплення, як і сярод патомкаў рэцэсіўных гомазігот *aa*. Гетэразіготныя асобіны *Aa* будуць даваць у патомстве расшчапленне 3 : 1.

Такім чынам, у аснове заканамернасцей, адкрытых Г. Мендэлем, ляжаць паводзіны гамалагічных храмасом у працэсе меёзу і выпадковае зліццё (спалучэнне) гамет пры апладненні.

?

1. Якія гены называюцца алельнымі? Дзе размяшчаюцца алельныя гены?

2. Дайце азначэнні паняццяў «фенатып», «генатып», «гомазігота», «гетэразігота».

3. Чаму тая ці іншая прымета арганізма ў большасці выпадкаў вызначаецца двума алельнымі генамі? Чаму пры ўтварэнні гамет у кожную трапляе толькі адзін алельны ген з пары?

4. Якія цыталагічныя з'явы ляжаць у аснове заканамернасцей, выяўленых Г. Мендэлем?

5. У чалавека кары колер вачэй цалкам дамінуе над блакітным. Ці магчыма нараджэнне блакітнавокага дзіцяці ў сям'і, дзе абодва бацькі каравокія? Калі магчыма, то ў якім выпадку і з якой верагоднасцю? Калі немагчыма, то чаму?

6. Два шэрыя пацукі (самкі) былі скрыжаваны з белым самцом. У патомстве першай самкі — 7 шэрых дзіцянят, у патомстве другой — 5 белых і 4 шэрыя. Які колер шэрсці дамінуе? Запішыце абодва скрыжаванні.

7. Адзін фермер купіў у другога фермера чорнага барана для сваёй чорнай авечай атары. Праз некаторы час ён прад'явіў прэтэнзіі прадаўцу, паколькі з 30 народжаных ягнят сямёра аказаліся белымі. На гэта прадавец адказаў, што яго баран вінаваты толькі напалавіну, а палавіну віны нясуць чорныя авечкі пакупніка. Уладальнік авечай атары з гэтым не згадзіўся і заявіў, што яго авечкі раней нараджалі толькі чорных ягнят. На чыім баку праўда? Чаму раней авечкі нараджалі толькі чорных ягнят?

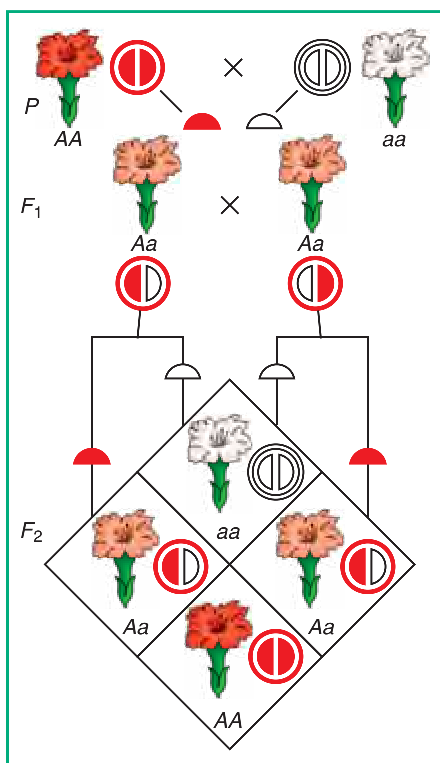
§ 42. Узаемадзеянне алельных генаў. Множны алелізм

Узаемадзеянне алельных генаў. Адрозніваюць некалькі тыпаў узаемадзеяння алельных генаў: поўнае дамінаванне, няпоўнае дамінаванне, кадамінаванне.

Поўнае дамінаванне — узаемадзеянне, пры якім дамінантны алель цалкам падаўляе праяўленне рэцэсіўнага алеля. У гэтым выпадку як у гомазігот AA, так і ў гетэразігот Aa праяўляецца дамінантная прымета. Паводле такога тыпу наследуюцца многія прыметы арганізмаў. Напрыклад, у *гароха* жоўты колер насення цалкам дамінуе над зялёным, а гладкая паверхня — над маршчыністай. У *чалавека* кары колер вачэй цалкам дамінуе над блакітным, рэзус-дадатнасць — над рэзус-адмоўнасцю, праварукасць — над леварукасцю, шасціпаласць дамінантна ў адносінах да нармальнай будовы кісці і г. д.

Накаторыя алельныя гены ўзаемадзейнічаюць па тыпе **няпоўнага дамінавання**. У гэтым выпадку дамінантная прымета праяўляецца толькі пры наяўнасці двух дамінантных алеляў у генатыпе (AA). Калі ж арганізм гетэразіготны (Aa), г. зн. мае толькі адзін дамінантны алель, у фенатыпе праяўляецца прымета, прамежкавая паміж дамінантнай і рэцэсіўнай.

Прыкладам няпоўнага дамінавання з'яўляецца наследаванне афарбоўкі кветак у раслін *начной прыгажуні*. Як відаць з малюнка 91, гомазіготныя расліны маюць або чырвоныя (AA), або белыя (aa) кветкі. Пры скрыжаванні раслін



Мал. 91. Наследаванне афарбоўкі венчыка ў начной прыгажуні (няпоўнае дамінаванне)

з чырвонымі і белымі кветкамі ў першым пакаленні ва ўсіх раслін кветкі будуць ружовымі (*Aa*), г. зн. назіраецца прамежкавы характар наследавання.

Пры няпоўным дамінаванні мяняецца характар расшчаплення ў другім пакаленні, паколькі фенатып гетэразігот адрозніваецца ад фенатыпу гомазігот. У гэтым выпадку расшчапленне па фенатыпе і па генатыпе супадае: 1 частка раслін мае белую афарбоўку кветак (*aa*), 2 часткі — ружовую (*Aa*) і 1 частка — чырвоную (*AA*), або **1 : 2 : 1**.

Няпоўнае дамінаванне шырока распаўсюджана. Па такім тыпе наследуецца кучаравасць валасоў у *чалавека* (кучаравыя валасы не цалкам дамінуюць над прамымі, прамежкавая прымета — хвалістыя валасы), масць *буйной рагатай жывёлы*, афарбоўка апярэння ў *курэй* і пладоў *суніц*, іншыя прыметы раслін, жывёл і чалавека.

Пры **кадамінаванні** ў гетэразіготных асобін цалкам праяўляюцца абодва алельныя гены. Класічным прыкладам кадамінавання з'яўляецца ўзаемадзеянне генаў у чалавека з чацвёртай групай крыві (па сістэме AB0).

Групы крыві 0, A, B і AB вызначаюцца генам *I*. Вядомы тры разнавіднасці гэтага гена: I^A, I^B, I^0. Алельныя гены I^A і I^B цалкам дамінуюць над I^0, але кадамінантныя ў адносінах адзін да другога.

Ген I^A абумоўлівае наяўнасць на мембранах эрытрацытаў антыгену A, ген I^B вызначае наяўнасць другога антыгену — B. Значыць, у людзей з генатыпамі I^AI^A і I^AI^0 эрытрацыты нясуць толькі антыген A — гэта другая (A) група крыві. У людзей з генатыпамі I^BI^B і I^BI^0 чырвоныя крывяныя клеткі нясуць толькі антыген B — гэта кроў трэцяй (B) групы. Чалавек з генатыпам I^0I^0 мае першую (0) групу крыві — на паверхні яго эрытрацытаў адсутнічаюць антыгены A і B.

У гетэразігот з генатыпам I^AI^B гены I^A і I^B не падаўляюць праяўленне адзін другога, а кадамінуюць. Кожны з іх у поўнай меры выконвае сваю функцыю, таму эрытрацыты ўтрымліваюць абодва антыгены (A і B). У выніку фарміруецца новая прымета — чацвёртая (AB) група крыві.

Множны алелізм. Афарбоўка насення *гароху*, наследаванне якой вывучаў Мендэль, вызначаецца двума алелямі — дамінантным і рэцэсіўным. Але многія гены прадстаўлены не двума, а вялікай колькасцю алеляў. Вы ўжо ведаеце, што ген, які вызначае ў *чалавека* групы крыві (па сістэме AB0), існуе ў трох формах — I^A, I^B, I^0. Для гена, які кантралюе сінтэз гемаглабіну, вядома некалькі дзясяткаў разнавіднасцей. Пры гэтым у кожнай канкрэтнай асобіны ёсць не больш за два алелі кожнага гена, паколькі саматычныя клеткі ўтрымліваюць дыплоідны набор храмасом.

З'ява існавання гена больш чым у дзвюх алельных формах называецца **множным алелізмам**. Множныя алелі нярэдка ўтвараюць серыі, у якіх кожны папярэдні алель дамінантны ў адносінах да наступнага. Напрыклад, у *труса* вядома серыя алеляў: $C > c^{ch} > c^h > c^a$, дзе алель C, які вызначае чорную афарбоўку шэрсці, дамінуе над трыма іншымі: над алелем, які вызначае шыншылавую (c^{ch}), гімалайскую (c^h) і белую (c^a) афарбоўку. Алель шыншылавай афарбоўкі, у сваю чаргу, дамінуе над алелем гімалайскай афарбоўкі, а апошні дамінуе над алелем, які вызначае белую афарбоўку (мал. 92). Вядомы серыі множных алеляў, якія вызначаюць колер вачэй у *дразафілы*, малюнак на лістах *белай канюшыны* і інш.

Мал. 92. Афарбоўка шэрсці трусоў: *а* — чорная; *б* — шыншылавая ; *в* — гімалайская; *г* — белая

Аналізуючае скрыжаванне. Пры поўным дамінаванні аднаго алеля над другім арганізмы, якія маюць дамінантны фенатып, могуць мець розныя генатыпы — *AA* або *Aa*. Як вызначыць генатып асобіны, якая валодае дамінантнай прыметай? Гэта можна зрабіць па выніках скрыжавання даследуемай асобіны з рэцэсіўнай гомазіготай (*aa*). Такое скрыжаванне называецца **аналізуючым**.

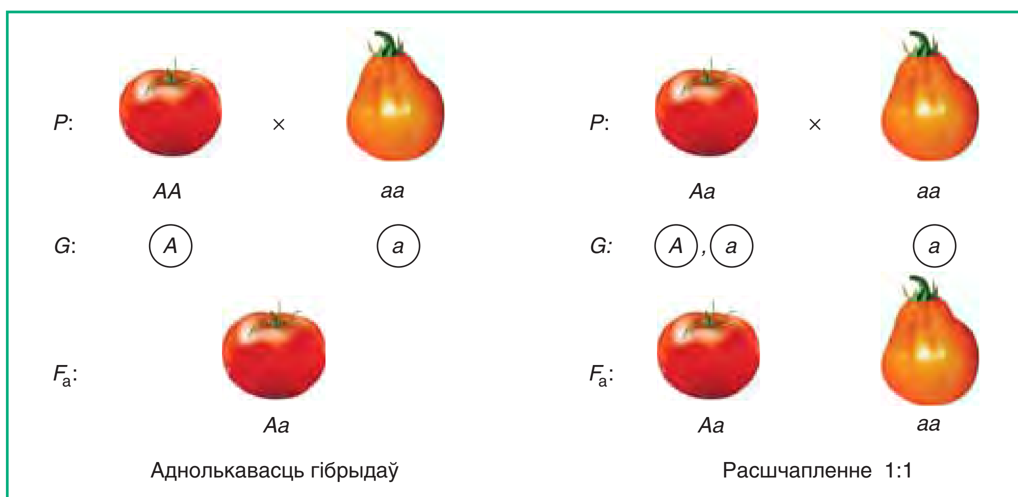
Напрыклад, у *таматаў* ген, які кантралюе з'яўленне круглых пладоў, цалкам дамінуе над генам, які вызначае грушападобную форму. Трэба вызначыць генатып расліны з круглымі пладамі. Увядзём абазначэнні адпаведных генаў: *A* — круглыя плады, *a* — грушападобныя. Даследуемая расліна можа мець генатып *AA* або *Aa*. У гэтым выпадку запісваюць фенатыповы радыкал — тую

частку генатыпу, якая вызначае фенатып арганізма. У нашым выпадку фенатыповы радыкал трэба запісаць у выглядзе *А*-.

Скрыжуем даследуемую асобіну з рэцэсіўнай гомазіготай, г. зн. з раслінай, якая мае грушападобныя плады.

P:	*A*-	×	*aa*
	круглыя		грушападобныя

Разгледзім два варыянты аналізуючага скрыжавання (мал. 93). Выкарыстаем для гэтага два магчымыя генатыпы даследуемай расліны (*AA* і *Aa*). Патомства, атрыманае пры аналізуючым скрыжаванні, прынята абазначаць як F_a. Звярніце ўвагу, што ў першым выпадку ў патомстве назіраецца аднолькавасць гібрыдаў, а ў другім — расшчапленне 1 : 1.



Мал. 93. Аналізуючае скрыжаванне

Такім чынам, калі патомства, атрыманае пры аналізуючым скрыжаванні, з'яўляецца аднолькавым па дамінантнай прымеце, то аналізуемая асобіна з'яўляецца гомазіготнай (*AA*). Калі ж у патомстве назіраецца расшчапленне, даследуемы арганізм з'яўляецца гетэразіготным (*Aa*). Значыць, **аналізуючае скрыжаванне** — гэта скрыжаванне асобіны, якая мае дамінантны фенатып, з гомазіготнай рэцэсіўнай асобінай для выяўлення генатыпу аналізуемай асобіны.

? **1.** Якія тыпы ўзаемадзеяння алельных генаў вам вядомы?
2. Чым поўнае дамінаванне адрозніваецца ад няпоўнага? Прывядзіце прыклады.
3. Дапусцім, што ў пэўнага віду раслін шырокія лісты дамінуюць над вузкімі. Скрыжавалі дзве гетэразіготныя расліны. Патомства з якімі фенатыпамі і ў якіх суадносінах трэба

чакаць, калі гены, якія кантралююць шырыню лістоў, узаемадзейнічаюць па тыпе поўнага дамінавання? Па тыпе няпоўнага дамінавання?

4. Што такое кадамінаванне? Які тып узаемадзеяння назіраецца паміж генамі I^B і I^0, што вызначаюць групу крыві чалавека? Паміж генамі I^A і I^B?

5. Што такое множны алелізм? Ці можа быць у чалавека тры алелі, якія вызначалі б групу крыві (па сістэме AB0)? Чаму?

6. Што ўяўляе сабой аналізуючае скрыжаванне? Як па выніках аналізуючага скрыжавання можна вызначыць генатып асобіны, якая валодае дамінантным фенатыпам?

7. У Івана і Марыі чацвёра дзяцей. Усе яны маюць розныя групы крыві: I, II, III і IV. Вызначыце групы крыві і генатыпы Івана і Марыі.

8. Афарбоўка апярэння ў курэй наследуецца па тыпе няпоўнага дамінавання (чорнае апярэнне дамінуе над белым, прамежкавая прымета — рабое апярэнне). Рабых курэй скрыжавалі з рабымі пеўнямі. Вядома, што яшчэ да апладнення гіне 70 % гамет, якія нясуць рэцэсіўны алель, і 30 % гамет, якія нясуць дамінантны алель. Вызначыце працэнтныя суадносіны патомкаў з усімі магчымымі фенатыпамі.

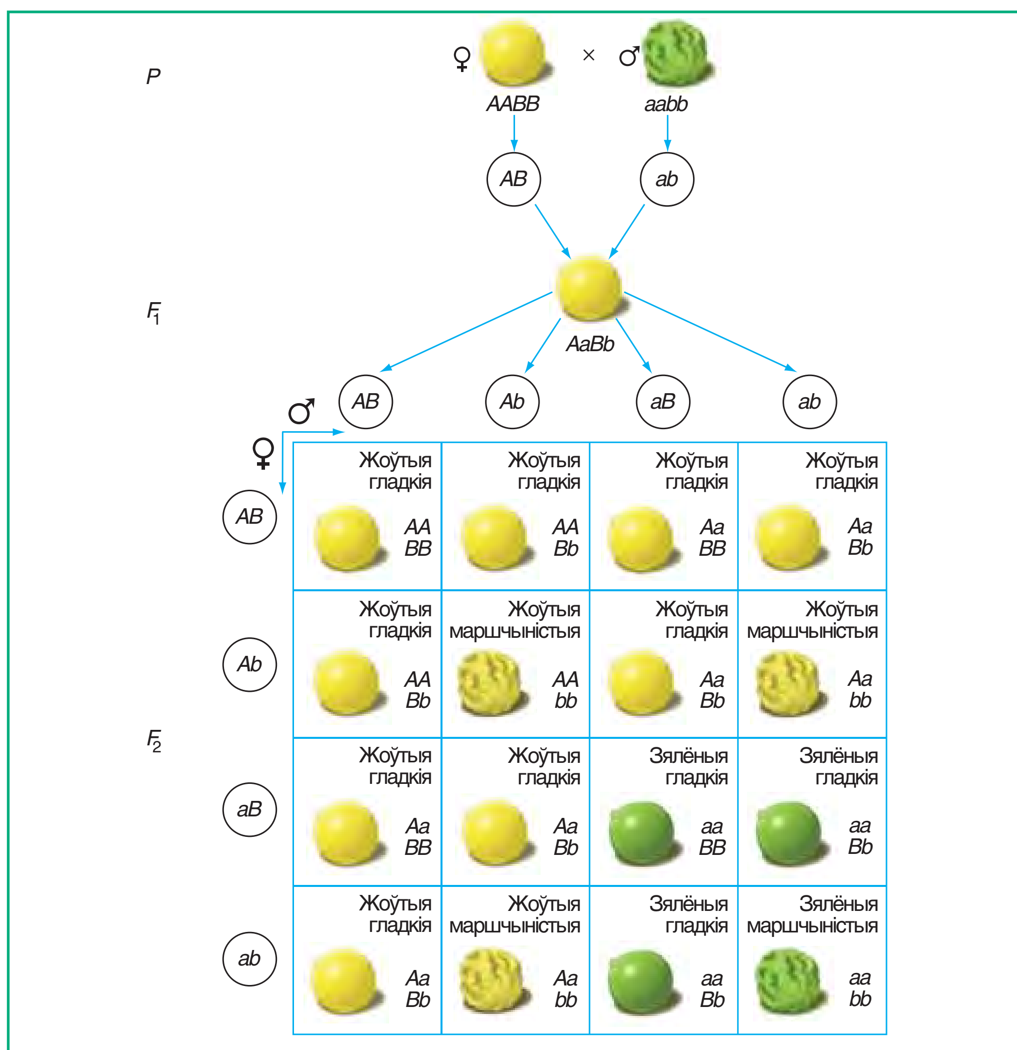
§ 43. Дыгібрыднае скрыжаванне. Трэці закон Мендэля

Дыгібрыднае скрыжаванне. Закон незалежнага наследавання прымет. Скрыжаванне, пры якім бацькоўскія формы адрозніваюцца па дзвюх парах альтэрнатыўных прымет, называецца **дыгібрыдным**. Калі бацькі адрозніваюцца па многіх парах альтэрнатыўных прымет, скрыжаванне называецца **полігібрыдным**.

У доследах Г. Мендэль скрыжоўваў гомазіготныя расліны гароху, якія адрозніваліся адначасова па дзвюх парах прымет, напрыклад па афарбоўцы і па форме паверхні насення (мал. 94). Адны бацькоўскія расліны мелі жоўтае гладкае насенне, другія — зялёнае маршчыністае. У першым пакаленні назіралася аднольkавасць — усе гібрыды мелі жоўтае гладкае насенне. Значыць, жоўтая афарбоўка цалкам дамінуе над зялёнай, а гладкая паверхня — над маршчыністай.

Шляхам самаапылення гібрыдаў першага пакалення было атрымана другое пакаленне, у якім у адпаведнасці з законам расшчаплення з'явіліся не толькі дамінантныя, але і рэцэсіўныя прыметы. Пры гэтым назіраліся ўсе магчымыя спалучэнні прымет насення: жоўтыя гладкія, жоўтыя маршчыністыя, зялёныя гладкія і зялёныя маршчыністыя ў суадносінах **9 : 3 : 3 : 1**.

Такім чынам, было атрымана патомства чатырох фенатыпічных класаў: дамінантныя па абедзвюх прыметах — $\frac{9}{16}$; дамінантныя па першай і рэцэсіўныя па другой прымеце — $\frac{3}{16}$, рэцэсіўныя па першай і дамінантныя па другой прымеце — $\frac{3}{16}$, рэцэсіўныя па абедзвюх прыметах — $\frac{1}{16}$ частка.



Мал. 94. Дыгібрыднае скрыжаванне раслін гароху, якія адрозніваюцца афарбоўкай і паверхняй насення (*A* — жоўтыя, *a* — зялёныя, *B* — гладкія, *b* — маршчыністыя)

Прааналізуем наследаванне кожнай пары альтэрнатыўных прымет паасобку і атрымаем наступныя вынікі: 12 частак насення мелі жоўтую афарбоўку, а 4 часткі — зялёную, г. зн. расшчапленне па прымеце афарбоўкі, як і пры монагібрыдным скрыжаванні, складае 3 : 1. Такая ж карціна назіраецца і пры аналізе расшчаплення па форме паверхні насення: 12 гладкіх і 4 маршчыністыя, г. зн. 3 : 1.

Гэта гаворыць аб тым, што пры дыгібрыдным (а таксама полігібрыдным) скрыжаванні расшчапленне па кожнай пары альтэрнатыўных прымет адбываецца незалежна ад іншых. Значыць, дыгібрыднае скрыжаванне, па сутнасці, уяўляе сабой два монагібрыдныя скрыжаванні, якія ідуць незалежна адно ад другога. Гэтая заканамернасць, устаноўленая Г. Мендэлем, у выніку была названа **законам незалежнага наследавання прымет** або **трэцім законам Мендэля**. Яго можна сфармуляваць наступным чынам: **пры скрыжаванні асобін, якія адрозніваюцца па дзвюх і больш парах альтэрнатыўных прымет, гены і адпаведныя ім прыметы наследуюцца незалежна і камбінуюцца ва ўсіх магчымых спалучэннях**.

Цыталагічныя асновы закону незалежнага наследавання прымет. У разгледжаным доследзе Г. Мендэль вывучаў наследаванне дзвюх пар альтэрнатыўных прымет. Відавочна, што колер насення і форма яго паверхні вызначаюцца дзвюма рознымі парамі генаў. Абазначым алель жоўтай афарбоўкі *A*, зялёнай — *a*, гладкай формы — *B*, маршчыністай — *b*.

Гены, якія кантралююць развіццё розных пар прымет, называюцца **неалельнымі**. Яны **размяшчаюцца ў розных парах храмасом або ў розных участках гамалагічных храмасом**. У дадзеным выпадку гены, якія абумоўліваюць афарбоўку (*A* і *a*), неалельныя ў адносінах да генаў, якія вызначаюць паверхню насення (*B* і *b*). Уявім, што гэтыя пары алеляў знаходзяцца ў негамалагічных храмасомах, г. зн. у розных парах храмасом.

Бацькоўскія расліны будуць мець генатыпы *AABB* і *aabb*. Асобіны, гомазіготныя па дзвюх парах генаў, называюцца дыгомазіготамі. У гаметы трапляе па адным гене з кожнай пары. Значыць, у кожнага з дыгомазіготных бацькоў фарміруецца адзін тып гамет: у аднаго — *AB*, у другога — *ab*. У выніку апладнення развіваецца першае пакаленне гібрыдаў. Усе яны маюць жоўтае гладкае насенне, што абумоўлена генатыпам *AaBb*. Асобіны, гетэразіготныя па дзвюх парах генаў, называюцца дыгетэразіготамі. Колькі тыпаў гамет утвараюць дыгетэразіготныя асобіны?

Як вядома, у анафазе I меёзу гамалагічныя храмасомы разыходзяцца да розных полюсаў клеткі. Пры гэтым разыходжанне кожнай пары храмасом адбываецца незалежна ад іншых пар. Негамалагічныя храмасомы разыходзяцца да полюсаў выпадковым чынам, утвараючы розныя камбінацыі. Значыць, ген *A* можа трапіць у адну гамету з генам *B* або з генам *b*. Такім чынам і ген *a* можа аказацца ў адной гамеце з генам *B* або з генам *b*. Па гэтай прычыне дыгетэразіготныя асобіны ўтвараюць чатыры тыпы гамет *AB, Ab, aB, ab* у роўных суадносінах — па 25 %.

Свабоднае спалучэнне такіх гамет пры апладненні прыводзіць да ўтварэння розных варыянтаў зігот, а значыць, і патомкаў. Выкарыстоўваючы фенатыпічныя радыкалы, расшчапленне па фенатыпе пры дыгібрыдным скрыжаванні (і пры

ўмове, што алельныя гены кожнай пары ўзаемадзейнічаюць паміж сабой па тыпе поўнага дамінавання) можна запісаць наступным чынам:

9 *A-B-* : 3 *A-bb* : 3 *aaB-* : 1 *aabb*.

Такім чынам, у аснове незалежнага наследавання ляжыць:

1) выпадковае разыходжанне негамалагічных храмасом у анафазе I меёзу, якое прыводзіць да фарміравання гамет з рознымі камбінацыямі генаў;

2) выпадковае зліццё гамет пры апладненні, што абумоўлівае ўтварэнне розных тыпаў зігот.

Даказаць, што ў дыгетэразіготнай асобіны ўтвараюцца гаметы чатырох тыпаў, прычым у роўных суадносінах, можна з дапамогай аналізуючага скрыжавання. Для гэтага дыгетэразіготны гарох, які мае жоўтае гладкае насенне, скрыжуем з рэцэсіўнай дыгомазіготай. У патомстве будуць назірацца чатыры фенатыпічныя (і генатыпічныя) класы ў суадносінах **1 : 1 : 1 : 1**, г. зн. па 25 %. Гэта сведчыць аб роўнаімаверным фарміраванні чатырох тыпаў гамет у аднаго з даследуемых бацькоў.

P:	♀ *AaBb* жоўтыя гладкія	×		♂ *aabb* зялёныя маршчыністыя
G:	(*AB*), (*Ab*), (*aB*), (*ab*)			(*ab*)
F_a:	*AaBb* жоўтыя гладкія	*Aabb* жоўтыя маршчыністыя	*aaBb* зялёныя гладкія	*aabb* зялёныя маршчыністыя

1. Якое скрыжаванне называецца дыгібрыдным? Полігібрыдным?

2. У чым заключаецца сутнасць закону незалежнага наследавання? Якія цыталагічныя асновы абумоўліваюць незалежнае наследаванне генаў і адпаведных ім прымет?

3. Якое расшчапленне па генатыпе і па фенатыпе будзе назірацца ў патомстве, калі дыгетэразіготную асобіну падвергнуць аналізуючаму скрыжаванню? Якое расшчапленне па фенатыпе назіраецца ў выніку скрыжавання дыгетэразігот паміж сабой?

4. Выпішыце ўсе тыпы гамет, якія ўтвараюць асобіны з генатыпамі: *AAbb, AaBb, aaBb, AaBbDd*.

5. Афарбоўка кветак начной прыгажуні наследуецца па прамежкавым тыпе (чырвоныя кветкі дамінуюць над белымі, у гетэразігот кветкі ружовыя), а высокае сцябло цалкам дамінуе над карлікавым. Скрыжоўваюць дзве дыгетэразіготныя расліны. Колькі працэнтаў раслін першага пакалення ўнаследуюць: а) карлікавае сцябло і ружовыя кветкі; б) высокае сцябло і чырвоныя кветкі; в) карлікавае сцябло і белыя кветкі; г) высокае сцябло і ружовыя кветкі?

6. У чалавека цёмны колер валасоў цалкам дамінуе над светлым, а нармальны слых — над прыроджанай глухатой. У светлавалосага мужчыны, глухога ад нараджэння, ёсць цёмнавалосы сын з нармальным слыхам і дачка са светлымі валасамі, у якой праявілася спадчынная глухата. Вызначыце генатып маці гэтых дзяцей. Якая верагоднасць нараджэння ў гэтай сям'і дзіцяці з фенатыпам маці?

7. У хамякоў карычневая афарбоўка шэрсці вызначаецца адным дамінантным генам, а абрыкосавая — другім дамінантным генам. Дадзеныя гены размешчаны ў розных парах храмасом, іх рэцэсіўныя алелі прыводзяць да з'яўлення белай афарбоўкі. Калі ж у генатыпе хамяка прысутнічаюць абодва неалельныя дамінантныя гены, з'яўляецца новая прымета — чорная афарбоўка. Ад скрыжавання абрыкосавага самца з карычневай самкай нарадзілася дзіцяня з белай шэрсцю. Устанавіце генатыпы бацькоўскіх асобін. Якое патомства можна чакаць ад іх у далейшым?

§ 44. Счэпленае наследаванне. Храмасомная тэорыя спадчыннасці

Счэпленае наследаванне. Г. Мендэль апублікаваў вынікі сваіх даследаванняў у 1865 г., аднак у той час яго адкрыцці засталіся незаўважанымі. Толькі ў 1900 г. К. Корэнс (Германія), Г. дэ Фрыз (Галандыя) і Э. Чэрмак (Аўстрыя) незалежна адзін ад другога выявілі ў розных відаў раслін тыя ж заканамернасці наследавання прымет, што і Г. Мендэль. Англійскі генетык У. Бэтсан пацвердзіў законы Мендэля на жывёлах. Пераадкрыццё законаў Мендэля выклікала глыбокую цікавасць да вывучэння заканамернасцей наследавання прымет і садзейнічала хуткаму развіццю генетыкі.

У 1902 г. нямецкі цытолаг і эмбрыёлаг Т. Боверы даказаў удзел храмасом у працэсах перадачы спадчыннай інфармацыі. Ён паказаў, напрыклад, што нармальнае развіццё *марскога вожыка* магчыма толькі пры наяўнасці ўсіх храмасом. Падобную сувязь заўважыў у 1903 г. і амерыканскі цытолаг У. Сэтан. Так атрымалі абгрунтаванне меркаванні Мендэля аб спадчынных фактарах, аб наяўнасці адзінарнага набору гэтых фактараў у гаметах і двайнога — у зіготах. У 1909 г. дацкі біёлаг В. Іагансен увёў паняцце «ген».

У 1910 г. амерыканскі генетык Т. Морган эксперыментальна даказаў, што гены размешчаны ў храмасомах. Шматлікія даследаванні Т. Моргана і яго вучняў прывялі да цэлага шэрага важнейшых адкрыццяў, якія леглі ў аснову **храмасомнай тэорыі спадчыннасці**. Адно з гэтых палажэнняў можна сфармуляваць наступным чынам: **гены размешчаны ў храмасомах у лінейным парадку і займаюць пэўныя ўчасткі — локусы, прычым алельныя гены знаходзяцца ў аднолькавых локусах гамалагічных храмасом**.

Закон незалежнага даследавання (трэці закон Мендэля) сапраўдны ў тым выпадку, калі неалельныя гены знаходзяцца ў розных парах храмасом. Аднак колькасць генаў у жывых арганізмаў значна большая за лік храмасом. Напрыклад, у *чалавека* каля 25 тыс. генаў, а колькасць храмасом — 23 пары ($2n = 46$);

Морган Томас Хант (1866—1945) — амерыканскі біёлаг, адзін з заснавальнікаў генетыкі. Першым пачаў даследаванні на пладовай мушцы дразафіле. Вынікам гэтых доследаў з’явілася храмасомная тэорыя спадчыннасці. Лаўрэат Нобелеўскай прэміі (1933 г.).

у пладовай мушкі *дразафілы* прыкладна 14 тыс. генаў і ўсяго 4 пары храмасом ($2n = 8$). Значыць, кожная храмасома ўтрымлівае мноства генаў. Ці будуць гены, лакалізаваныя ў адной храмасоме, наследавацца незалежна? Відавочна, што не.

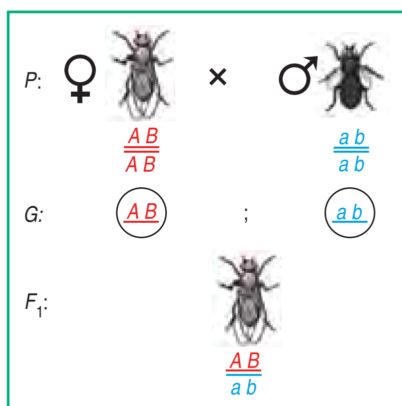
Гены, размешчаныя ў адной храмасоме, утвараюць групу счаплення і наследуюцца разам. Сумеснае наследаванне генаў Т. Морган прапанаваў называць **счэпленым наследаваннем** (у адрозненне ад незалежнага). Кожная пара гамалагічных храмасом утрымлівае гены, якія кантралююць адны і тыя ж прыметы, таму **колькасць груп счаплення роўна ліку пар храмасом**. Напрыклад, у чалавека 23 групы счаплення, а ў дразафілы — 4.

Вам вядома, што пры незалежным наследаванні дыгетэразіготная асобіна, напрыклад $\frac{A}{a}\frac{B}{b}$, утварае чатыры тыпы гамет у роўных суадносінах, г. зн. па 25 %: $\underline{A}\,\underline{B}$, $\underline{A}\,\underline{b}$, $\underline{a}\,\underline{B}$ і $\underline{a}\,\underline{b}$. Гэта абумоўлена тым, што неалельныя гены знаходзяцца ў розных парах храмасом. Калі б яны былі размешчаны ў гамалагічных храмасомах, варта было б чакаць, што дыгетэразігота $\frac{AB}{ab}$ будзе ўтвараць толькі два тыпы гамет: 50 % $\underline{AB}$ і 50 % $\underline{ab}$ (звярніце ўвагу на тое, што счэпленыя гены запісваюцца ў адну храмасому).

Аднак Т. Морган выявіў, што ў большасці выпадкаў дэгетэразіготныя асобіны ўтвараюць не два, а чатыры тыпы гамет. Акрамя чакаемых $\underline{AB}$ і $\underline{ab}$ фарміруюцца таксама гаметы з новымі камбінацыямі генаў: $\underline{Ab}$ і $\underline{aB}$, толькі ў меншых працэнтных суадносінах. Разгледзім адзін з эксперыментаў Т. Моргана, у якім вывучалася наследаванне спецыяльных генаў у *дразафілы*.

Калі пачысціць садавіну або гародніну і не адразу выкінуць ачысткі або пакінуць садавіну на некалькі дзён на стале, то можна заўважыць, як вакол астаткаў ежы пачнуць раіцца маленькія мушкі памерам каля 2—3,5 мм. Гэта *дразафілы* — пладовыя мушкі, род насякомых атрада Двухкрылыя (мал. 95). Звычайна дразафілы маюць чырвоныя вочы і жоўта-карычневую афарбоўку брушка. Жыццёвы цыкл дразафілы кароткі: развіццё ад яйца да палаваспелай асобіны пры 25 °С займае 10 дзён. Невялікія памеры, высокая пладавітасць, прастата культывавання і шэраг іншых асаблівасцей на доўгі час зрабілі дразафілу галоўным аб’ектам генетыкі. Не адзін нобелеўскі лаўрэат, акрамя свайго інтэлекту, абавязаны ёй сваімі навуковымі дасягненнямі.

Мал. 95. Дразафіла



Мал. 96. Скрыжаванне чыстых ліній дразафіл

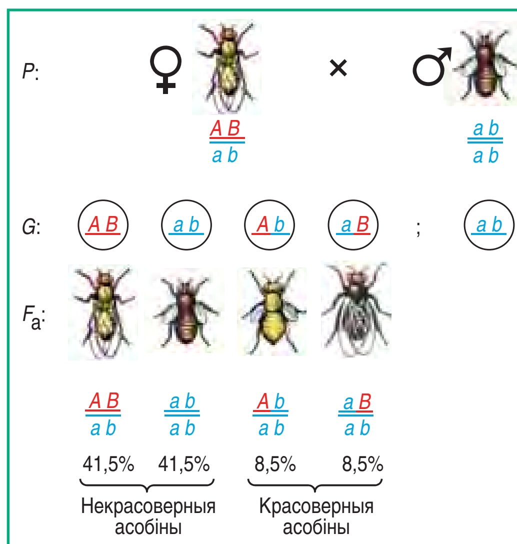
Шляхам скрыжавання чыстай лініі дразафіл, якія маюць шэрае цела і нармальныя (доўгія) крылы, з чыстай лініяй, асобіны якой мелі чорнае цела і зачаткавыя крылы, былі атрыманы гібрыды першага пакалення (мал. 96). Усе яны ў адпаведнасці з законам аднолькавасці былі шэрымі з нармальна развітымі крыламі. Значыць, у дразафіл шэрае цела (A) цалкам дамінуе над чорным (a), а нармальныя крылы (B) — над зачаткавымі (b). Усе гібрыды першага пакалення — дыгетэразіготы.

Затым было праведзена аналізуючае скрыжаванне (мал. 97). Дыгетэразіготную самку з гібрыднага пакалення скрыжавалі з рэцэсіўным дыгомазіготным самцом (чорнае цела і зачаткавыя крылы). У патомстве было атрымана па 41,5 % асобін з шэрым целам, нармальнымі крыламі і чорным целам, зачаткавымі крыламі, а таксама па 8,5 % мух з шэрым целам, зачаткавымі крыламі і чорным целам, нармальнымі крыламі.

Калі б гены, якія вызначаюць колер цела і развіццё крылаў, знаходзіліся ў розных парах храмасом, суадносіны фенатыпічных класаў былі б роўнымі — па 25 %. Але гэтага не назіралася, значыць, гены знаходзяцца ў гамалагічных храмасомах і наследуюцца счэплена.

Нягледзячы на счапленне генаў, самка $\frac{AB}{ab}$ утварала не два, а чатыры тыпы гамет. Аднак гамет з зыходнымі спалучэннямі счэпленых генаў фарміравалася намнога больш ($\underline{AB}$ і $\underline{ab}$ разам саставілі 83 %), чым з новымі іх спалучэннямі (сума $\underline{Ab}$ і $\underline{aB}$ роўна 17 %).

Было выяўлена, што прычынай з'яўлення храмасом з новымі камбінацыямі бацькоўскіх генаў з'яўляецца красінговер. Вы памятаеце, што гэты працэс адбываецца ў прафазе I меёзу і ўяўляе сабой абмен



Мал. 97. Аналізуючае скрыжаванне гетэразіготнай самкі дразафілы

адпаведнымі ўчасткамі паміж гамалагічнымі храмасомамі. Такім чынам, **красінговер перашкаджае поўнаму (абсалютнаму) счапленню генаў**. Гаметы, якія ўтвараюцца ў выніку красінговера, і асобіны, якія развіваюцца пры ўдзеле такіх гамет, называюцца красовернымі або рэкамбінантнымі. У разгледжаным эксперыменце гаметы $\underline{Ab}$ і $\underline{aB}$ з'яўляліся красовернымі, а гаметы $\underline{AB}$ і $\underline{ab}$ — некрасовернымі (гл. мал. 97).

Красінговер паміж канкрэтнымі счэпленымі генамі адбываецца з пэўнай верагоднасцю (частатой). Для разліку частаты красінговера (*rf*, ад англ. *recombination frequency* — частата рэкамбінацыі) можна карыстацца наступнай формулай:

$$rf = \frac{\text{сума красоверных гамет (асобін)}}{\text{агульная колькасць гамет (асобін)}} \cdot 100\ \%.$$

Такім чынам, паміж генамі *A* і *B*, якія кантралююць колер цела і даўжыню крылаў дразафілы, красінговер адбываецца з частатой: $rf_{AB} = 17\ \%$.

Далейшыя даследаванні, праведзеныя Т. Морганам і яго супрацоўнікамі, паказалі, што **частата красінговера прапарцыянальна адлегласці паміж генамі, размешчанымі ў адной храмасоме**. Чым большая адлегласць паміж счэпленымі генамі, тым часцей паміж імі адбываецца красінговер. І наадварот, чым бліжэй адзін да другога размешчаны гены, тым меншая частата красінговера паміж імі. Чым тлумачыцца гэтая заканамернасць?

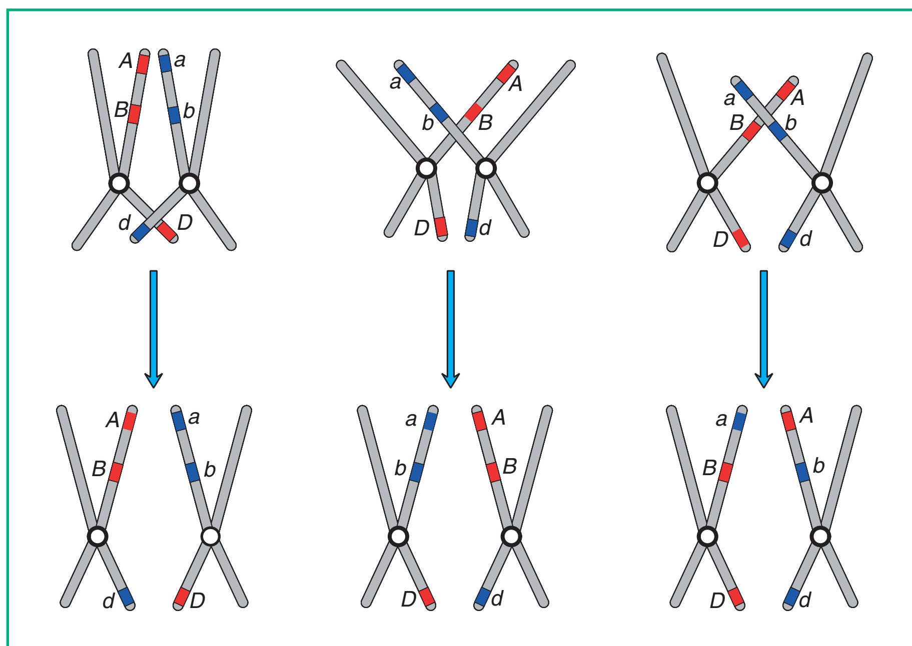
У прафазе І меёзу пры кан'югацыі гамалагічных храмасом утварэнне перакрыжаванняў паміж храматыдамі ажыццяўляецца адвольна, на любых адпаведных участках. Разгледзім малюнак 98.

Гены *A* і *B* (або *a* і *b*) знаходзяцца параўнальна блізка адзін ад другога. Верагоднасць таго, что перакрыжаванне адбудзецца менавіта на ўчастку, які раздзяляе гэтыя гены, невялікая. Гены *A* і *D* (або *a* і *d*) размяшчаюцца на значнай адлегласці адзін ад другога. Таму верагоднасць таго, што храматыды перакрыжуюцца на якім-небудзь участку паміж імі, намнога вышэйшая. Значыць, чым большая адлегласць паміж генамі, тым часцей яны раздзяляюцца пры красінговеры.

Такім чынам, частата красінговера дазваляе меркаваць аб адлегласці паміж генамі. У гонар Т. Моргана адзінка вымярэння адлегласці паміж генамі атрымала назву марганіда або, што тое самае, сантымарганіда (сМ).

Марганіда (сантымарганіда, сМ) — гэта генетычная адлегласць, на якой красінговер адбываецца з верагоднасцю 1 %.

Біялагічнае значэнне красінговера надзвычай вялікае. У выніку гэтага працэсу ўзнікаюць новыя камбінацыі бацькоўскіх генаў, што павышае генетычную

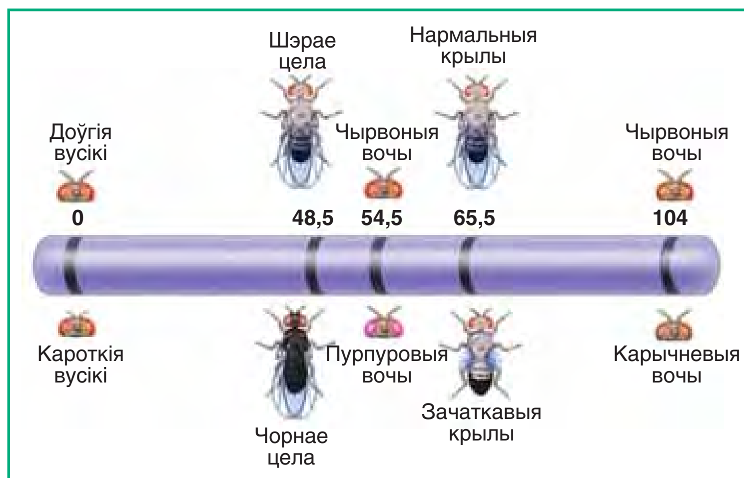


Мал. 98. Схемы розных варыянтаў красінговера
паміж гамалагічнымі храмасомамі

разнастайнасць патомства і пашырае магчымасці адаптацыі арганізмаў да розных умоў навакольнага асяроддзя.

Генетычныя карты. Т. Морган і супрацоўнікі яго лабараторыі паказалі, што значэнне частаты красінговера паміж счэпленымі генамі дазваляе будаваць генетычныя карты храмасом. Генетычная карта ўяўляе сабой схему ўзаемнага размяшчэння генаў, якія знаходзяцца ў адной групе счаплення, з улікам адлегласцей паміж імі (мал. 99).

Генетычныя карты храмасом ужо складзены для чалавека, многіх відаў жывёл, раслін, грыбоў і мікраарганізмаў. Наяўнасць генетычнай карты сведчыць аб высокай ступені вывучанасці таго ці іншага віду арганізма і ўяўляе вялікую навуковую цікавасць. Такі арганізм з’яўляецца выдатным аб’ектам для правядзення эксперыментальных работ, якія маюць не толькі навуковае, але і практычнае значэнне. У прыватнасці, веданне генетычных карт дазваляе планаваць работы па атрыманні арганізмаў з пэўнымі спалучэннямі прымет, што шырока прымяняецца ў селекцыйнай практыцы. Генетычныя карты храмасом чалавека выкарыстоўваюцца ў медыцыне для дыягностыкі і лячэння шэрага спадчынных захворванняў.



Мал. 99. Схема генетычнай карты другой храмасомы дразафілы

Асноўныя палажэнні храмасомнай тэорыі спадчыннасці.

1. Гены ў храмасомах размешчаны лінейна, у пэўнай паслядоўнасці. Алельныя гены знаходзяцца ў аднолькавых локусах гамалагічных храмасом.

2. Гены, размешчаныя ў адной храмасоме, утвараюць групу счаплення і наследуюцца разам. Колькасць груп счаплення роўна ліку пар храмасом.

3. Счапленне генаў можа парушацца ў выніку красінговеру, які адбываецца пры кан'югацыі гамалагічных храмасом у прафазе I меёзу.

4. Частата красінговеру прапарцынальная адлегласці паміж генамі: чым большая адлегласць, тым вышэйшая частата красінговеру, і наадварот.

5. За адзінку адлегласці паміж счэпленымі генамі прынята 1 марганіда — адлегласць, на якой красінговер адбываецца з верагоднасцю 1 %.

?

1. Ці заўсёды захоўваецца III закон Г. Мендэля? У якіх выпадках гены наследуюцца незалежна, а ў якіх выпадках — счэплена?

2. Што такое група счаплення? Чаму роўна колькасць груп счаплення ў клетках розных арганізмаў?

3. Чаму частата красінговеру паміж спецыяльнымі генамі залежыць ад адлегласці паміж імі?

4. Што такое генетычныя карты храмасом? Якія перспектывы іх выкарыстання?

5. Сфармулюйце асноўныя палажэнні храмасомнай тэорыі спадчыннасці.

6. Якія тыпы гамет і ў якіх працэнтных суадносінах будуць фарміраваць дыгетэразіготныя асобіны $\frac{AB}{ab}$ і $\frac{Ab}{aB}$, калі вядома, што адлегласць паміж генамі A і B складае 20 марганід?

7. Шэры колер цела ў дразафілы дамінуе над жоўтым, чырвоныя вочы — над гранатавымі. Гены, якія адказваюць за гэтыя прыметы, лакалізаваны ў першай пары храмасом і знаходзяцца на адлегласці 44 марганіды. Скрыжавалі чыстыя лініі шэрацелых мух з гранатавымі вачамі і жоўтых з чырвонымі вачамі. З атрыманых гібрыдаў выбралі самку і падверглі яе аналізуючаму скрыжаванню. Якімі будуць працэнтныя суадносіны фенатыпічных класаў у патомстве?

8. У аднаго з відаў раслін рассечаныя лісты дамінуюць над суцэльнымі, а сіняя афарбоўка кветак — над ружовай. У выніку аналізуючага скрыжавання было атрымана патомства чатырох фенатыпічных класаў: 1) 133 расліны з рассечанымі лістамі і сінімі кветкамі; 2) 362 расліны з рассечанымі лістамі і ружовымі кветкамі; 3) 127 раслін з суцэльнымі лістамі і ружовымі кветкамі; 4) 378 раслін з суцэльнымі лістамі і сінімі кветкамі. Затым расліны першага фенатыпічнага класа скрыжавалі з раслінамі другога фенатыпічнага класа. Колькі працэнтаў атрыманых гібрыдаў будуць мець рассечаныя лісты і ружовыя кветкі? Суцэльныя лісты і сінія кветкі?

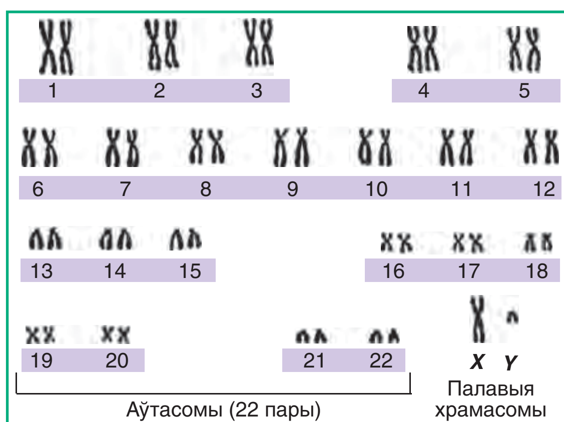
§ 45. Генетыка полу

Храмасомнае вызначэнне полу. З даўніх часоў чалавецтва цікавіла пытанне: чаму ў адных і тых жа бацькоў з’яўляюцца патомкі рознага полу і ў сувязі з чым у большасці раздзельнаполых арганізмаў назіраюцца прыкладна аднолькавыя суадносіны мужчынскіх і жаночых асобін? Вылучаліся сотні гіпотэз, але толькі развіццё генетыкі і цыталогіі дало магчымасць раскрыць механізм наследавання і вызначэння полу.

Пол — гэта сукупнасць марфалагічных, фізіялагічных, біяхімічных і іншых прымет арганізма, якія забяспечваюць узнаўленне сабе падобных. Успомнім, што палавыя прыметы прынята дзяліць на першасныя (наяўнасць палавых залоз пэўнага тыпу і іншых рэпрадуктыўных органаў) і другасныя (фенатыпічныя адрозненні мужчынскіх і жаночых асобін, якія непасрэдна не прымаюць удзелу ў працэсе размнажэння). Паколькі прыметы вызначаюцца генамі, было выказана меркаванне, што пол арганізма вызначаецца генетычна.

Пры даследаванні карыятыпаў многіх відаў жывёл і чалавека было ўстаноўлена, што ў асобін мужчынскага і жаночага полу ёсць адрозненні ў адной пары храмасом. Далейшыя даследаванні паказалі, што гэтыя храмасомы і вызначаюць пол арганізма, у сувязі з чым яны атрымалі назву **палавых храмасом**. Усе астатнія пары храмасом (аднолькавыя ў асобін мужчынскага і жаночага полу) былі названы **аўтасомамі**.

У саматычных клетках *чалавека* змяшчаецца 23 пары храмасом: 22 пары аўтасом і 1 пара палавых храмасом. У клетках мужчынскага арганізма палавыя храмасомы рэзка адрозніваюцца па памерах і будове. Адна з іх буйная, нераўна-



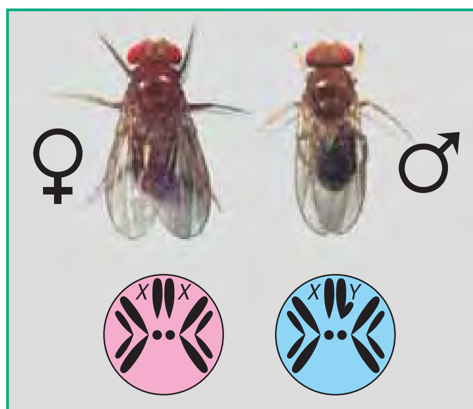
Мал. 100. Набор храмасом чалавека

плечая, утрымлівае вялікую колькасць генаў — гэта **X-храмасома** (і к с) (мал. 100). Другая храмасома дробная, нагадвае літару Y і змяшчае параўнальна мала генаў. Яна названа **Y-храмасомай** (і г р э к). У клетках жаночага арганізма палавыя храмасомы аднолькавыя — дзве *X*-храмасомы.

Калі аўтасомы абазначыць літарай *A*, можна запісаць храмасомны набор жанчыны ў выглядзе $44A + XX$, мужчыны — $44A + XY$. Пры ўтварэнні гамет у кожную з іх трапляе палавіна аўтасом і адна з палавых храмасом. Значыць, у жаночым арганізме ўтвараецца а д з і н тып яйцаклетак: усе яны маюць набор храмасом $22A + X$. У мужчынскім арганізме фарміруюцца д в а тыпы сперматазоідаў у роўных суадносінах: $22A + X$ і $22A + Y$.

Калі яйцаклетку апладняе сперматазоід, які змяшчае *X*-храмасому, з зіготы развіваецца жаночы арганізм. Калі ў апладненні ўдзельнічае сперматазоід з *Y*-храмасомай, з зіготы развіваецца дзіця мужчынскага полу. Значыць, у чалавека пол дзіцяці залежыць ад тыпу сперматазоіда бацькі. Паколькі абодва тыпы мужчынскіх гамет утвараюцца з аднолькавай верагоднасцю, у патомстве назіраецца **расшчапленне паводле полу 1 : 1**.

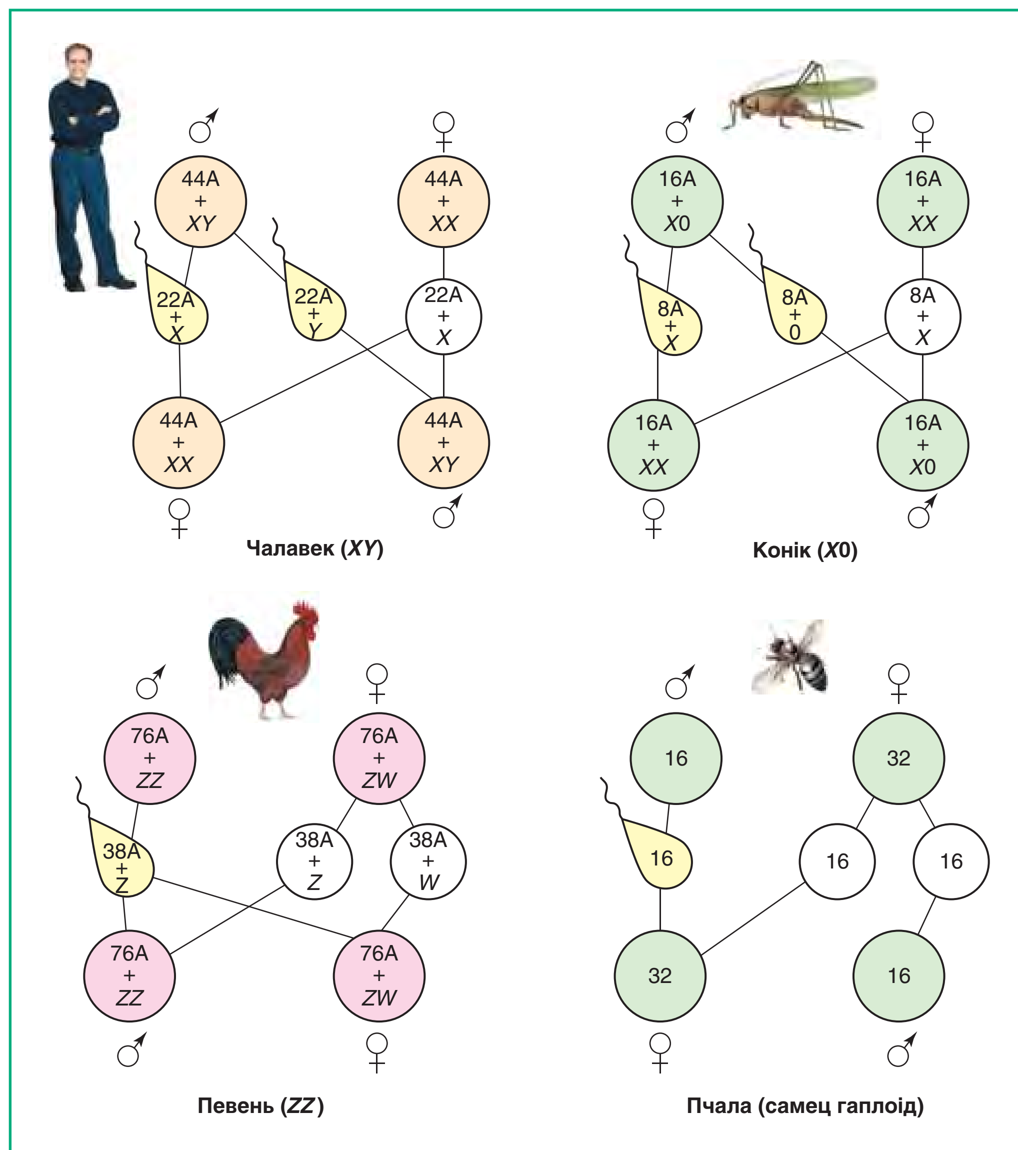
Так, як і ў чалавека, адбываецца вызначэнне полу ў большасці іншых млекакормячых, шэрагу насякомых (напрыклад, у *дразафілы*), многіх двухдомных раслін. Напрыклад, у саматычных клетках *дразафілы* ёсць 4 пары храмасом: 3 пары аўтасом і 1 пара палавых храмасом (мал. 101). Храмасомны набор самак дразафілы $6A + XX$, самцоў — $6A + XY$.



Мал. 101. Храмасомы дразафілы

Пол, які мае аднолькавыя палавыя храмасомы і ўтварае адзін тып гамет, прынята называць **гомагаметным**. Пол,

якi фармiруе два тыпы гамет, называюць **гетэрагаметным**. Пры *XY*-тыпе вызначэння полу жаночы пол з'яўляецца гомагаметным, а мужчынскi — гетэрагаметным (мал. 102).



Мал. 102. Асноўныя тыпы вызначэння полу

У прыродзе сустракаецца і процілеглы тып вызначэння полу, пры якім мужчынскія асобіны з'яўляюцца гомагаметнымі, а жаночыя — гетэрагаметнымі. Гэта характэрна, напрыклад, для *птушак* (гл. мал. 102), многіх *паўзуноў*, некаторых *рыб, земнаводных, матылькоў* (*тутавы шаўкапрад*), *раслін* (*суніцы*). Пры гэтым палавыя храмасомы абазначаюць літарамі Z і W, каб выдзеліць дадзены тып азначэння полу. У самцоў палавыя храмасомы запісваюць як ZZ, а ў самак — ZW.

У некаторых відаў арганізмаў гетэрагаметны пол мае толькі адну няпарную палавую храмасому, у той час як гомагаметны — дзве аднолькавыя. Напрыклад, у *коніка* самкі маюць храмасомны набор $16A + XX$, а самцы — $16A + X0$ (нулём абазначаюць адсутнасць храмасомы). Самкі з'яўляюцца гомагаметным полам, іх яйцаклеткі змяшчаюць па дзевяць храмасом: $8A + X$. Самцы выпрацоўваюць два тыпы сперматазоідаў: у адных змяшчаецца таксама дзевяць храмасом: $8A + X$, у другіх — толькі восем: $8A + 0$. Значыць, у *коніка* мужчынскі пол гетэрагаметны. $X0$-тып азначэння полу сустракаецца і ў другіх відаў *прамакрылых*, а таксама ў *жукоў, павукоў*, некаторых *клапоў, круглых чарвякоў*. У выпадку, калі гетэрагаметным полам з'яўляецца жаночы, палавыя храмасомы самак запісваюць як $Z0$, а самцоў — ZZ.

У *пчол, вос, мурашак* і некаторых іншых *перапончатых* няма палавых храмасом. Самкі — гэта дыплоідныя арганізмы, якія развіваюцца з аплодненых яец, а гаплоідныя самцы — з неаплодненых (гл. мал. 102).

Асаблівасці наследавання прымет, счэпленых з полам. Палавыя храмасомы ўтрымліваюць не толькі гены, якія вызначаюць пол арганізма, але і іншыя, якія не маюць адносін да полу. Напрыклад, у X-храмасоме чалавека размешчаны гены, якія кантралююць згусанне крыві, успрыманне колеру (здольнасць адрозніваць асноўныя колеры), развіццё зрокавага нерва і інш. Y-храмасома гэтых генаў не змяшчае.

Y-храмасома чалавека мае невялікія памеры і адпаведна змяшчае менш генаў, чым X-храмасома. Аднак акрамя генаў, якія вызначаюць развіццё мужчынскіх палавых прымет, у ёй ёсць і іншыя. Менавіта ў Y-храмасоме знаходзяцца гены, якія азначаюць наяўнасць жорсткіх валасоў на вушных ракавінах, вялікіх зубоў і некаторых іншых прымет. У X-храмасоме такіх генаў няма, таму даныя прыметы могуць праяўляцца толькі ў мужчын.

Прыметы, якія вызначаюцца генамі, размешчанымі ў палавых храмасомах, называюцца **прыметамі, счэпленымі з полам**. Наследаванне гэтых прымет мае свае асаблівасці. Разгледзім іх на прыкладзе спадчыннага захворвання чалавека — гемафіліі.

У хворых на гемафілію парушаны працэс згусання крыві, таму ў выніку траўмаў або хірургічнага ўмяшання могуць узнікаць крывацёкі, якія пагражаюць жыццю. Акрамя таго, у гемафілікаў нярэдка адбываюцца спантанныя кровазліцці ў суставы і ўнутраныя органы.

Гэтая хвароба абумоўлена рэцэсіўным генам h, счэпленым з X-храмасомай. Дамінантны ген H вызначае ў чалавека нармальнае згусанне крыві. У жанчын дзве X-храмасомы, таму па прымеце згусання крыві, як і па іншых прыметах, счэпленых з X-храмасомай, магчымы тры варыянты генатыпу:

♀ $\frac{H}{H}$ (пры геннай форме запісу — ♀ $X^H X^H$) — здаровая жанчына;

♀ $\frac{H}{h}$ (або ♀ $X^H X^h$) — здаровая жанчына, носьбітка гена гемафіліі;

♀ $\frac{h}{h}$ (або ♀ $X^h X^h$) — жанчына-гемафілік.

> Дзяўчынкі, хворыя гемафіліяй, нараджаюцца надзвычай рэдка: адна на 100 млн нованароджаных (сярод хлопчыкаў гэты паказчык намнога вышэй, у сярэднім 1 : 10 000). Раней многія дзяўчынкі-гемафілікі пamiралі ў падлеткавым узросце ў сувязі з пачаткам менструацый. Хоць гемафілія і на сённяшні дзень лічыцца невылечнай хваробай, яе цячэнне кантралюецца з дапамогай ін'екцый фактара згусання крыві, якога не стае ў арганізме. Такім чынам, сучасная медыцына істотна прадоўжвае працягласць жыцця хворых на гемафілію.

Пры запісе скрыжаванняў Y-храмасому абазначаюць рыскай з кручком: $\rightharpoondown$. У адносінах генаў H або h яна з'яўляецца «пустой». Таму ў мужчыны ёсць толькі адзін ген, які вызначае згусанне крыві. Гэты ген знаходзіцца ў X-храмасоме і заўсёды праяўляецца ў фенатыпе незалежна ад таго, з'яўляецца ён дамінантным або рэцэсіўным. Такім чынам, у мужчын могуць быць наступныя генатыпы:

$\frac{H}{\rightharpoondown}$ (або ♂ $X^H Y$) — здаровы мужчына;

$\frac{h}{\rightharpoondown}$ (або ♂ $X^h Y$) — мужчына-гемафілік.

Як відаць з запісаў генатыпаў, мужчыны не могуць з'яўляцца носьбітамі гена гемафіліі і іншых спадчынных захворванняў, счэпленых з X-храмасомай.

Разгледзім, якое патомства можа з'явіцца ў жанчыны-носьбіткі гена гемафіліі і мужчыны з нармальным згусаннем крыві:

Генная форма запісу

P:	♀ X^HX^h носьбітка гена гемафіліі	×	♂ X^HY здаровы мужчына	
G:	(X^H), (X^h)		(X^H), (Y)	
F_1:	♀ X^HX^H здаровая дачка	♀ X^HX^h дачка-носьбітка гена гемафіліі	♂ X^HY здаровы сын	♂ X^hY сын-гемафілік

Храмасомная форма запісу

P:	♀ $\frac{H}{h}$ носьбітка гена гемафіліі	×	♂ $\frac{H}{\rightharpoondown}$ здаровы мужчына	
G:	$(\underline{H})$, $(\underline{h})$		$(\underline{H})$, $(\rightharpoondown)$	
F_1:	♀ $\frac{H}{H}$ здаровая дачка	♀ $\frac{H}{h}$ дачка-носьбітка гена гемафіліі	♂ $\frac{H}{\rightharpoondown}$ здаровы сын	♂ $\frac{h}{\rightharpoondown}$ сын-гемафілік

Такім чынам, сярод сыноў назіраецца расшчапленне паводле генатыпу і фенатыпу: палавіна — здаровыя, палавіна — гемафілікі. Сярод дачок назіраецца расшчапленне па генатыпе: усе яны здаровыя, але палавіна — носьбіткі гена гемафіліі. Падобная заканамернасць характэрна і для іншых рэцэсіўных прымет, счэпленых з полам. Да іх адносяцца, напрыклад, такія спадчынныя захворванні як дальтанізм, атрафія зрокавага нерва, адсутнасць потавых залоз.

Для таго каб нарадзілася дзяўчынка з рэцэсіўнай прыметай, счэпленай з X-храмасомай, неабходна аб’яднанне ў зігоце двух рэцэсіўных генаў — ад маці і ад бацькі. Для праяўлення такой жа прыметы ў хлопчыка дастаткова аднаго рэцэсіўнага гена, атрыманага ад бацькі (паколькі бацька перадае сыну толькі Y-храмасому). Таму рэцэсіўныя, сплеценыя з X-храмасомай прыметы часцей сустракаюцца сярод мужчын. Напрыклад, у Еўропе на дальтанізм хварэе больш чым 6 % мужчынскага насельніцтва, у той час як сярод жанчын гэтае захворванне сустракаецца з частатой прыблізна 0,5 %.

Генатып як цэласная сістэма. Вывучаючы заканамернасці наследавання прымет у арганізмаў, вы пазнаёміліся з рознымі тыпамі ўзаемадзеяння алельных генаў. У шэрагу выпадкаў вынікам такога ўзаемадзеяння можа быць з'яўленне якасна новай прыметы, якая не вызначаецца ні адным з генаў паасобку (успомніце, напрыклад, чым абумоўлена IV група крыві ў чалавека).

Аднак у жывых арганізмаў вядома вялікая колькасць прымет, якія кантралююцца не адной, а дзвюма і больш парамі генаў. Узаемадзеяннем неалельных генаў вызначаюцца, напрыклад, рост, тып целаскладу і колер скуры ў чалавека, афарбоўка шэрсці і апярэння ў многіх млекакормячых і птушак, форма, велічыня, афарбоўка пладоў і насення раслін і інш. Часта назіраецца і супрацьлеглая з'ява, калі адна пара алельных генаў уплывае адразу на некалькі прымет арганізма. Акрамя таго, дзеянне адных генаў можа быць зменена суседствам другіх генаў або ўмовамі навакольнага асяроддзя.

Такім чынам, гены цесна звязаны і ўзаемадзейнічаюць адзін з другім. Таму генатып любога арганізма нельга разглядаць як простую суму асобных генаў. Генатып — гэта складаная цэласная сістэма генаў, якія ўзаемадзейнічаюць.

?

1. Які набор палавых храмасом характэрны для саматычных клетак мужчыны? Жанчыны? Пеўня? Курыцы?

ZZ, ZW, WW, XX, XY, YY.

2. Чаму ў большасці раздзельнаполых жывёл з'яўляецца прыкладна аднолькавая колькасць патомкаў мужчынскага і жаночага полу?

3. Яйцаклетка шымпанзэ ўтрымлівае 23 аўтасомы. Колькімі храмасомамі прадстаўлены карыятып шымпанзэ?

4. Якія прыметы называюцца счэпленымі з полам? Якія асаблівасці наследавання гэтых прымет?

5. Дакажыце, што генатып жывога арганізма ўяўляе сабой цэласную сістэму.

6. Дальтанізм — рэцэсіўная прымета, счэпленая з *X*-храмасомай. У сям'і, дзе маці валодае нармальным успрыманнем колераў, нарадзілася дачка-дальтонік. Устанавіце генатыпы бацькоў. Якая верагоднасць нараджэння ў іх здаровага сына?

7. У палярнай савы апераныя ногі дамінуюць над голымі. Гэта прымета кантралюецца аўтасомнымі генамі. Доўгія кіпцюры — дамінантная прымета, якая вызначаецца генам, лакалізаваным у *Z*-храмасоме. Самку з аперанымі нагамі скрыжавалі з самцом, які мае доўгія кіпцюры і апераныя ногі. У выніку атрымалі патомства з розным спалучэннем усіх фенатыпічных прымет. Якая верагоднасць (%) з'яўлення сярод патомства самца з голымі нагамі і кароткімі кіпцюрамі?

8. У аднаго з відаў матылькоў гетэрагаметным полам з'яўляецца жаночы. Праведзена скрыжаванне чырвонага самца, які мае булавападобныя вусікі, з жоўтай самкай з ніцепадобнымі вусікамі. Палавіну патомства саставілі жоўтыя самцы з ніцепадобнымі вусікамі, другую палавіну — чырвоныя самкі з ніцепадобнымі вусікамі. Як наследуецца афарбоўка цела і тып вусікаў? Якія прыметы дамінуюць? Вызначыце генатыпы скрыжоўваемых форм і іх патомства.

§ 46. Зменлівасць арганізмаў, яе тыпы. Мадыфікацыйная зменлівасць

Роля генатыпу і ўмоў асяроддзя ў фарміраванні прымет. Вывучаючы заканамернасці наследавання прымет, мы пераканаліся, што фенатып вызначаецца генатыпам. У шэрагу выпадкаў прымета сапраўды фарміруецца толькі пад уплывам генатыпу і не залежыць ад умоў асяроддзя, у якім развіваецца арганізм. Напрыклад, у чалавека, які мае ў генатыпе гены I^A і I^B, незалежна ад умоў жыцця фарміруецца IV група крыві. У той жа час рост, маса цела, колькасць эрытрацытаў у крыві і іншыя прыметы залежаць яшчэ і ад умоў навакольнага асяроддзя.

Мал. 103. Раўнінная і горная формы дзьмухаўца

У 1895 г. французскі батанік Г. Банье правёў наступны досьлед: радзяліў маладую расліну *дзьмухаўца* на дзве часткі і стаў вырошчваць іх у розных умовах — на раўніне і высока ў горах. Першая расліна дасягнула нармальнай вышыні, а другая аказалася карлікавай (мал. 103). Гэты дослед паказвае, што на фарміраванне фенатыпу (г. зн. прымет) аказвае ўздзеянне не толькі генатып, але і ўмовы навакольнага асяроддзя. Таму арганізмы, якія маюць аднолькавыя генатыпы (напрыклад, монaзіготныя блізняты), могуць адрознівацца адзін ад другога па фенатыпе.

З дадзенага доследу вынікае і другі вывад: кожны арганізм, развіваючыся ў пэўных умовах асвятлення, вільготнасці, тэмпературы і г. д., зведвае на сабе ўздзеянне фактараў асяроддзя і здольны змяняцца пад іх уплывам.

Адрозніваюць неспадчынную (мадыфікацыйную) і спадчынную (генатыпічную) зменлівасць.

Мадыфікацыйная зменлівасць — гэта змяненне фенатыпу пад уздзеяннем фактараў навакольнага асяроддзя, якое адбываецца без змянення генатыпу.

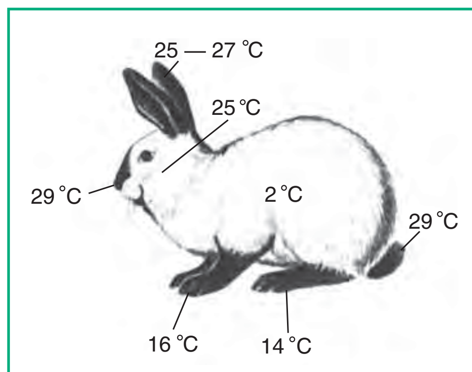
Разнастайныя прыметы арганізма ў рознай ступені мяняюцца пад уплывам знешніх умоў. Адны з іх вельмі пластычныя і зменлівыя, другія менш зменлівыя, трэція могуць быць зменены ўмовамі асяроддзя ў вельмі малой ступені. Некаторыя прыметы практычна не мяняюцца.

Напрыклад, калі мы ўважліва разгледзім форму асобных кветак і суквеццяў (кошыкаў) дзьмухаўцоў, а таксама форму лістоў і змераем іх велічыню, то выявім, што памеры і форма кветак мяняюцца мала. У большай ступені вар'іруе велічыня кошыкаў. У той жа час даўжыня лістоў і іх форма істотна адрозніваюцца нават у межах адной расліны. Заўважана, што калі фарміраванне лістоў ішло пры больш нізкай тэмпературы, то яны драбнейшыя і ліставая пласцінка мае большыя выразы. Наадварот, пры больш высокай тэмпературы фарміруюцца буйнейшыя лісты з невялікімі выразамі.

Аднак пры якой бы тэмпературы ні ішло фарміраванне лістоў, мы не знойдзем сярод іх ні надта маленькіх (некалькі міліметраў), на надта вялікіх (больш чым 40 см). Значыць, пад уплывам асяроддзя прыметы могуць мяняцца толькі ў пэўным дыяпазоне. Межы мадыфікацыйнай зменлівасці прыметы называюць яе **нормай рэакцыі**. Адны прыметы, напрыклад даўжыня лістоў, вышыня раслін, маса цела жывёл, удойнасць *буйной рагатай жывёлы*, яйцаноскасць *курэй*, валодаюць ш ы р о к а й нормай рэакцыі. Іншыя, напрыклад велічыня кветак і іх форма, афарбоўка насення, кветак і пладоў, масць жывёл, тлустасць малака, — больш в у з к а й нормай рэакцыі.

Яшчэ адным прыкладам, які ілюструе ўплыў знешняга асяроддзя на праяўленне прымет, служыць змяненне афарбоўкі шэрсці ў *гімалайскіх трусоў*. Звычайна пры 20 °C шэрсць у іх на ўсім целе белая, за выключэннем чорных вушэй, лап, хваста і мордачкі. Пры 30 °C трусы вырастаюць цалкам белымі. Калі ж у гімалайскага труса састрыгчы шэрсць на баку або спіне і ўтрымліваць пры тэмпературы паветра ніжэй чым 2 °C, то замест белай шэрсці вырасце чорная. Калі састрыгчы шэрсць на вуху, то пры звычайнай тэмпературы там зноў вырасце чорная шэрсць. Значыць, для кожнай вобласці цела ў труса ёсць свой тэмпературны парог (мал. 104). Гэтыя назіранні тлумачаць, чаму гімалайскія трусы нараджаюцца цалкам белымі: іх эмбрыянальнае развіццё адбываецца ва ўмовах высокай тэмпературы.

Узнікненне мадыфікацый у асноўным звязана з тым, што ўмовы навакольнага асяроддзя ўплываюць на актыўнасць ферментаў, а значыць, могуць у пэўнай меры змяняць інтэнсіўнасць і ход працякання працэсаў абмену рэчываў у арганізме.



Мал. 104. Карта тэмпературных парогаў пігментацыі шэрсці ў гімалайскага труса

Мадыфікацыйная зменлівасць характарызуецца шэрагам асаблівасцей, важнейшымі з якіх з'яўляюцца наступныя.

1. Мадыфікацыі часта носяць абарачальны характар, г. зн. са зменай умоў асяроддзя ў асобін мяняецца ступень выражанасці тых або іншых прымет. Напрыклад, у дарослага *чалавека* ў залежнасці ад харчавання і ладу жыцця мяняецца маса цела, у *кароў* могуць змяняцца ўдоі, у *курэй* — яйцаноскасць.

2. У большасці выпадкаў мадыфікацыі носяць адэкватны характар, г. зн. ступень выражанасці прыметы знаходзіцца ў прамой залежнасці ад інтэнсіўнасці і працягласці дзеяння таго або іншага фактара. Напрыклад, чым больш часу чалавек праводзіць пад прамымі сонечнымі прамянямі, тым больш меланіну сінтэзуецца ў адкрытых участках скуры і адпаведна цямнейшы яе колер. Таму мадыфікацыйную зменлівасць яшчэ называюць акрэсленай.

3. Мадыфікацыі носяць адаптыўны (прыстасавальны) характар. Гэта азначае, што ў адказ на змененыя ўмовы асяроддзя ў асобіны праяўляюцца такія фенатыпічныя змены, якія садзейнічаюць яе выжыванню. Напрыклад, у чалавека, які апынуўся высока ў горах, павялічваецца ўтрыманне эрытрацытаў у крыві, каб забяспечыць клеткі цела кіслародам.

4. Адным з асноўных уласцівасцей мадыфікацый з'яўляецца іх масавасць. Гэта выражаецца ў тым, што адзін і той жа фактар выклікае прыкладна аднолькавыя змяненні ў асобін, падобных генатыпічна. Таму мадыфікацыйную зменлівасць называюць групавой. Напрыклад, пры перамяшчэнні *авечак* у больш халодныя ўмовы ва ўсіх асобін шэрсць становіцца больш густой.

5. Паколькі пры мадыфікацыйнай зменлівасці генатып не закранаецца, то мадыфікацыі не наследуюцца. Наследуецца толькі норма рэакцыі, паколькі яна абумоўлена генатыпам.

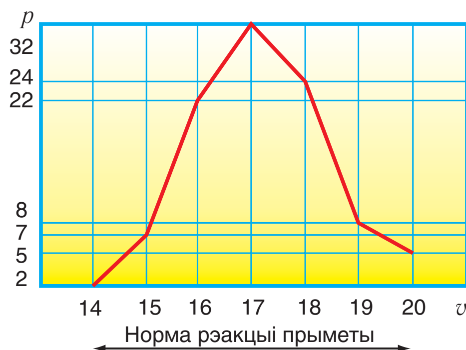
Такім чынам, прыметы і ўласцівасці арганізмаў генетычна прадвызначаны і могуць змяняцца пад уплывам асяроддзя без змянення генатыпу толькі ў межах нормы рэакцыі.

Статыстычны аналіз мадыфікацыйнай зменлівасці. Прыметы арганізмаў падраздзяляюцца на якасныя (колер вачэй і валос у чалавека, масць жывёл, афарбоўка насення і інш.) і колькасныя (рост чалавека, маса цела жывёл, вышыня сцябла і памер лістоў раслін і інш.). Для характарыстыкі ступені зменлівасці колькасных прымет прымяняюць статыстычныя метады — пабудову варыяцыйнага рада і варыяцыйнай крывой. Напрыклад, колькасць каласкоў у складаным коласе *пшаніцы* аднаго сорту вар'іруе ў даволі шырокіх межах. Калі размеркаваць каласы па ўзрастанні колькасці каласкоў, то атрымаецца **варыяцыйны рад** зменлівасці дадзенай прыметы, якая складаецца з асобных варыянтаў. Частата сустракаемасці асобнай варыянты ў варыяцыйным радзе неад-

нолькавая: найбольш часта сустракаюцца каласы з сярэдняй колькасцю каласкоў і радзей — з бо́льшай і меншай.

Лік каласкоў у коласе, v	14	15	16	17	18	19	20
Колькасць каласоў, p	2	7	22	32	24	8	5

Размеркаванне варыянтаў у гэтым радзе можна паказаць графічна (мал. 105). Для гэтага на восі абсцыс адкладваюць значэнне варыянтаў (v) у парадку іх павелічэння, на восі ардынат — частату сустракаемасці кожнай варыянты (p). Графічнае выражэнне зменлівасці прыметы, якая адлюстроўвае як размах варыяцый, так і частоты сустракаемасці асобных варыянтаў, называюць **варыяцыйнай крывой**.



Мал. 105. Варыяцыйная крывая ліку каласкоў у складаных каласах пшаніцы

Каб даць аб'ектыўную характарыстыку зменлівасці прыметы, трэба вывучыць вялікую колькасць асобін, паколькі статыстычныя заканамернасці — гэта заканамернасці вялікіх лікаў.

Значэнне мадыфікацыйнай зменлівасці. Мадыфікацыйная зменлівасць забяспечвае параўнальна хуткае фарміраванне ў працэсе антагенезу прыстасавання арганізма да зменлівых умоў знешняга асяроддзя, садзейнічае тым самым выжыванню асобін. Значыць, мадыфікацыі з'яўляюцца важнейшым фактарам нармальнага працякання індывідуальнага развіцця жывога арганізма.

Веданне заканамернасцей мадыфікацыйнай зменлівасці мае вялікае практычнае значэнне, паколькі дазваляе прадбачыць і загадзя сплanаваць многія паказчыкі. У прыватнасці, стварэнне аптымальных умоў для рэалізацыі генатыпу дае магчымасць дабіцца высокай прадукцыйнасці жывёл і раслін.

?

1. Якая роля генатыпу і ўмоў асяроддзя ў фарміраванні фенатыпу? Прывядзіце прыклады.

2. Што ўяўляе сабой мадыфікацыйная зменлівасць? Прывядзіце прыклады.

3. Што такое норма рэакцыі? Дакажыце на канкрэтных прыкладах справядлівасць сцверджання аб тым, што наследуецца не сама прымета, а яе норма рэакцыі.

4. Ахарактарызуйце асноўныя ўласцівасці мадыфікацый. Чаму няспадчынную зменлівасць таксама называюць групавой? Акрэсленай?

5. Якія статыстычныя метады прымяняюцца для аналізу зменлівасці колькасных прымет?

6. Наколькі важна на практыцы ведаць норму рэакцыі прымет у раслін, жывёл і чалавека?
7. Калі прымулу, якая ў звычайных умовах мае чырвоныя кветкі, перанесці ў аранжарэю з тэмпературай 30—35 °C і павышанай вільготнасцю, новыя кветкі на гэтай расліне будуць ужо белымі. Калі гэтую расліну вярнуць ва ўмовы адносна нізкай тэмпературы (15—20 °C), яна зноў пачынае квітнець чырвоным колерам. Чым гэта можна растлумачыць?
8. Чаму на птушкафабрыках светлавы дзень у курэй-нясушак штучна працягваюць да 20 г, а ў пеўнікаў-бройлераў — скарачаюць да 6 г у суткі?

§ 47. Генатыпічная зменлівасць

Выдзяляюць два тыпы генатыпічнай (спадчыннай) зменлівасці: камбінатыўную і мутацыйную.

Камбінатыўная зменлівасць. Вядома, што дзеці звычайна падобны на сваіх бацькоў, аднак ніколі не з'яўляюцца іх дакладнымі копіямі. Акрамя таго, дзеці адных і тых жа бацькоў могуць значна адрознівацца. У чым прычына такіх адрозненняў? З аднаго боку, некаторыя з іх могуць тлумачыцца рознымі ўмовамі, у якіх адбывалася развіццё арганізмаў. С другога боку, прычынай можа быць узнікненне ў патомства новых спалучэнняў (камбінацый) бацькоўскіх генаў. Такая зменлівасць называецца **камбінатыўнай**.

Крыніцамі камбінатыўнай зменлівасці служаць тры працэсы.

1. Красінговер, які адбываецца ў прафазе I меёзу.

2. Незалежнае разыходжанне храмасом у анафазе I меёзу. Менавіта незалежнае камбінаванне храмасом з'яўляецца асновай трэцяга закона Мендэля.

3. Выпадковае спалучэнне гамет пры апладненні.

Першыя два працэсы забяспечваюць утварэнне гамет з рознымі камбінацыямі генаў. Выпадковае зліццё гамет прыводзіць да ўтварэння зігот з рознымі спалучэннямі генаў абодвух бацькоў. У выніку ў гібрыдаў з'яўляюцца новыя камбінацыі бацькоўскіх прымет, а таксама новыя прыметы, якіх не было ў бацькоў. Структура генаў пры гэтым не змяняецца.

Адным з прыкладаў камбінатыўнай зменлівасці можа служыць нараджэнне дзяцей з I або IV групай крыві ў гетэразіготных бацькоў, якія маюць II і III групы крыві (у патомкаў з'яўляюцца новыя прыметы, якія адрозніваюцца ад бацькоўскіх). Другім прыкладам можа быць з'яўленне мух з шэрым целам і зачаткавымі крыламі, з чорным целам і нармальнымі крыламі пры скрыжаванні дыгетэразіготнай дразафілы (шэрае цела, нармальныя крылы) з чорным самцом, які мае зачаткавыя крылы. У дадзеным выпадку ў патомства ў выніку красінговеру ўзнікаюць новыя спалучэнні прымет бацькоў.

Такім чынам, камбінатыўная зменлівасць — важнейшая крыніца разнастайнасці жывых арганізмаў і іх магчымасці да адаптацыі.

Мутацыйная зменлівасць. Прычынай гэтага тыпу зменлівасці з'яўляюцца **мутацыі** — наследуемыя змяненні генетычнага матэрыялу арганізмаў. Практычна любое змяненне структуры генаў, будовы або колькасці храмасом, пры якім клетка захоўвае здольнасць да самаўзнаўлення, абумоўлівае спадчынныя змяненні прымет арганізмаў. Працэс узнікнення мутацый атрымаў назву мутагенезу, а арганізмы, якія змянілі свой фенатып у выніку мутацыі, называюцца мутантамі.

Упершыню тэрмін «мутацыя» быў прапанаваны галандскім вучоным Г. дэ Фрызам у класічнай працы «Мутацыйная тэорыя» (1901 — 1903), асноўныя палажэнні якой да гэтага часу не страцілі свайго значэння.

1. Мутацыі (у адрозненне ад мадыфікацый) не развіваюцца паступова, а ўзнікаюць знянацку, скачкападобна. Яны не ўтвараюць бесперапынных радоў зменлівасці, не маюць нормы рэакцыі.

2. Мутацыі наследуюцца.

3. Мутацыі не накіраваны (не вызначаны) — змяніцца можа любы элемент спадчыннага матэрыялу клеткі (ген, храмасома, храмасомны набор у цэлым), прычым нельга з дакладнасцю прадказаць, якія менавіта генетычныя структуры будуць закрануты, якім чынам адбудуцца змяненні і да якіх вынікаў для клеткі (і арганізма) гэта прывядзе.

4. Мутацыі не носяць масавы характар, а праяўляюцца індывідуальна.

5. Падобныя мутацыі могуць узнікаць неаднаразова.

Фізічныя, хімічныя і біялагічныя фактары, уздзеянне якіх на жывыя арганізмы прыводзіць да з'яўлення мутацый, называюцца **мутагеннымі фактарамі** або **мутагенамі**. Фізічнымі мутагенамі з'яўляюцца ўсе віды іанізуючых выпраменьванняў (гама- і рэнтгенаўскія прамяні, пратоны, нейтроны), ультрафіялетавае выпраменьванне, вельмі высокая або нізкая тэмпература і інш. Да хімічных мутагенаў адносяцца многія рэчывы, напрыклад фармалін, калхіцын, кафеін, некаторыя харчовыя кансерванты і пестыцыды, кампаненты тытунёвага дыму, лекавых прэпаратаў. Біялагічнымі мутагенамі з'яўляюцца вірусы і таксіны, якія выдзяляюцца паразітамі, плесневымі грыбамі і інш.

Існуе шмат падыходаў да класіфікацыі мутацый.

- Паводле паходжання адрозніваюць спантанныя і індуцыраваныя мутацыі. **Спантанныя** мутацыі ўзнікаюць адвольна на працягу ўсяго жыцця арганізма ў нармальных для яго ўмовах навакольнага асяроддзя. **Індуцыраванымі** называюць мутацыі, штучна выкліканыя пры дапамозе мутагенных фактараў у эксперыментальных умовах. Індуцыраваныя мутацыі ўзнікаюць у многа разоў часцей, чым спантанныя.

- Паводле ўзроўню змянення генетычнага матэрыялу мутацыі падраздзяляюць на генныя, храмасомныя і геномныя. **Генныя мутацыі** — гэта змяненні нуклеатыднай паслядоўнасці ДНК у межах аднаго гена ў выніку ўстаўкі, выпадзення або замены нуклеатыдаў. Такія змяненні аднаўляюцца ў струк-

Мал. 106. Нармальная і серпавідная форма эрытрацытаў

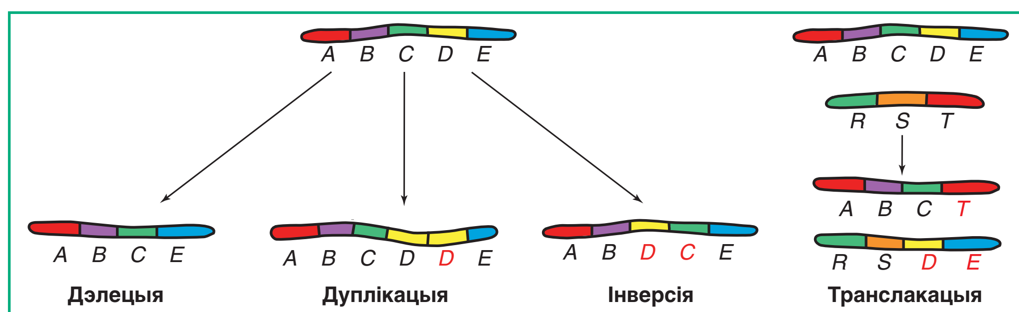
туры іРНК і часта прыводзяць да змянення паслядоўнасці амінакіслот сінтэзуючых бялкоў. Гэта самы распаўсюджаны тып мутацый і важнейшая крыніца спадчыннай зменлівасці арганізмаў.

Напрыклад, у *чалавека* замена пэўнага нуклеатыда ў гене, які кадзіруе ланцуг гемаглабіну, прыводзіць да замены ў гэтым бялку адной амінакіслаты (глутамінавай) на другую (валін). Змяненне структуры гемаглабіну вядзе да таго, што эрытрацыты замест акруглай формы набываюць серпападобную (мал. 106) і губляюць здольнасць да транспарту кіслароду. Гэта захворванне носіць назву серпападобнаклетачнай анеміі.

Храмасомныя мутацыі — гэта змяненні структуры храмасом. Адрозніваюць унутрыхрамасомныя і міжхрамасомныя мутацыі.

Да ўнутрыхрамасомных мутацый адносяць: выпадзенне ўчастка храмасомы (дэлецыя), двухразовы або шматразовы паўтор фрагмента храмасомы (дуплікацыя), паварот участка храмасомы на 180°, у выніку чаго гены гэтага ўчастка размяшчаюцца ў адваротнай паслядоўнасці (інверсія) (мал. 107).

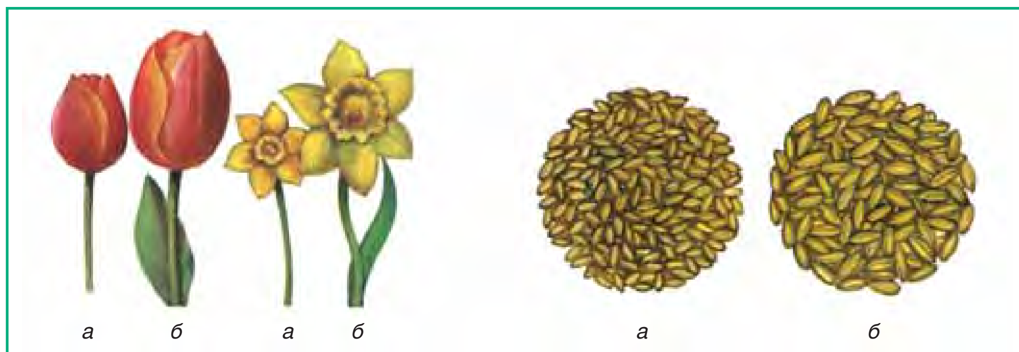
Да міжхрамасомных мутацый адносяць абмен участкамі паміж дзвюма негамалагічнымі храмасомамі (транслакацыя).



Мал. 107. Схемы храмасомных мутацый

Геномныя мутацыі — гэта змяненне колькасці храмасом у клетках. У аснове такіх парушэнняў ляжыць неразыходжанне храмасом да полюсаў клетак пры меёзе або мітозе. Гэта можа быць выклікана дзеяннем розных фактараў на ніці верацяна дзялення. Сярод геномных мутацый выдзяляюць поліплаідыю і гетэраплаідыю.

П о л і п л а і д ы я — гэта павелічэнне ліку храмасом у клетках, кратнае гаплоіднаму набору. Пры паліплаідыі ўзнікаюць т р ы п л о і д н ы я ($3n$), т э т р а п л о і д н ы я ($4n$), г е к с а п л о і д н ы я ($6n$), а к т а п л о і д н ы я ($8n$) клеткі і г. д. Поліпладыя распаўсюджана галоўным чынам у раслін. Паліплоідныя формы маюць больш буйныя лісты, кветкі, плады і насенне, адрозніваюцца павышанай устойлівасцю да неспрыяльных фактараў асяроддзя (мал. 108).



Мал. 108. Дыплоідныя (*а*) і тэтраплоідныя (*б*) формы цюльпана, нарцыса і зярнявак жыта

Г е т э р а п л а і д ы я (а н е ў п л а і д ы я) — гэта змяненне ліку храмасом, не кратнае гаплоіднаму набору. Гетэраплаідыя назіраецца, калі падчас мітозу або меёзу асобныя гамалагічныя храмасомы не разыходзяцца або губляюцца. У выніку могуць узнікаць палавыя клеткі з лішнімі храмасомамі або, наадварот, недахопам пэўных храмасом.

Пры зліцці такіх гамет з нармальнымі палавымі клеткамі могуць утварацца зіготы з наборам: $2n + 1$ (т р ы с о м і я), $2n - 1$ (м а н а с о м і я) і інш. Напрыклад, людзі з сіндромам Даўна з'яўляюцца трысомікамі па 21-й храмасоме, паколькі маюць у клетках адну лішнюю храмасому з 21-й пары. Калі адсутнічае пара гамалагічных храмасом, мутацыю называюць н у л і с о м і я й ($2n - 2$). Вядомы мутацыі, пры якіх у наборы змяшчаецца некалькі лішніх гамалагічных храмасом: т э т р а с о м і я ($2n + 2$), п е н т а с о м і я ($2n + 3$) і г. д.

• У залежнасці ад таго, у якіх клетках адбыліся мутацыі, іх падраздзяляюць на саматычныя і генератыўныя. **Саматычныя** мутацыі адбываюцца ў саматычных клетках. Яны могуць праяўляцца у самой асобіны і перадавацца патомству пры вегетатыўным размнажэнні. **Генератыўныя** мутацыі адбываюцца ў палавых клетках і перадаюцца пры палавым размнажэнні.

• Паводле ўплыву на жыццядзейнасць і пладавітасць асобін адрозніваюць наступныя тыпы мутацый. **Лятальныя** прыводзяць да гібелі арганізма (напрыклад,

у чалавека адсутнасць *X*-храмасом у наборы выклікае гібель плода на трэцім месяцы эмбрыянальнага развіцця). **Паўлятальныя** мутацыі зніжаюць жыццядзейнасць мутантаў (гемафілія, прыроджаная форма цукровага дыябету і інш.). **Нейтральныя** мутацыі істотна не ўплываюць на жыццядзейнасць і пладавітасць асобін (з'яўленне вяснушак). **Карысныя** мутацыі павышаюць прыстасаванасць арганізмаў да ўмоў асяроддзя (мутацыі, якія абумоўліваюць неўспрымальнасць да пэўных узбуджальнікаў захворванняў — ВІЧ, малярыйнага плазмодыя і інш.).

Закон гамалагічных радоў спадчыннай зменлівасці. Выдатны рускі вучоны М. І. Вавілаў вывучаў разнастайнасць і паходжанне культурных раслін. Ён выявіў важную заканамернасць, вядомую пад назвай **закона гамалагічных радоў спадчыннай зменлівасці**. Сутнасць гэтага закона заключаецца ў тым, што **віды і роды, блізкія генетычна, звязаныя адзінствам паходжання, характарызуюцца падобнымі радамі спадчыннай зменлівасці**. **Ведаючы, якія формы зменлівасці сустракаюцца ў аднаго віда, можна прадбачыць знаходжанне падобных форм у другіх відаў.**

Фактамі, якія пацвярджаюць гэты закон, з'яўляюцца выпадкі альбінізму ў пазваночных, гемафіліі, спадчынных форм катаракты (памутненне хрусталіка) і цукровага дыябету ў чалавека і іншых млекакормячых, адсутнасць асцюкоў у суквеццях, чорная афарбоўка зерня збожжавых культур і інш. З'яўленне падобных мутацый тлумачыцца агульнасцю генатыпаў. Чым большая ступень эвалюцыйнай роднасці разглядаемых арганізмаў, тым больш падабенства назіраецца ў радах спадчыннай зменлівасці.

Закон М. І. Вавілава мае вялікае практычнае значэнне для селекцыі і сельскай гаспадаркі, паколькі прагназуе наяўнасць пэўных форм зменлівасці ў раслін і жывёл. Ведаючы характар зменлівасці ў аднаго або некалькіх блізкіх відаў, можна мэтанакіравана шукаць формы, яшчэ невядомыя ў дадзенага віда, але ўжо адкрытыя ў роднасных яму форм. Дзякуючы закону гамалагічных радоў медыцына і ветэрынарыя атрымалі магчымасць пераносіць веды аб механізмах развіцця, цячэнні і спосабах лячэння захворванняў адных відаў (у прыватнасці, *чалавека*) на другія, блізкароднасныя.

Вавілаў Мікалай Іванавіч (1887—1943) — рускі батанік, генетык, расліназнавец, географ. Сфармуляваў закон гамалагічных радоў спадчыннай зменлівасці. Стварыў вучэнне аб цэнтрах паходжання культурных раслін. Правёў серыю экспедыцый па 40 краінах, сабраўшы ўнікальную калекцыю сартоў культурных раслін, якая да сённяшняга дня з'яўляецца асновай для селекцыйных работ.

Значэнне генатыпічнай зменлівасці. Мутацыі як крыніцы спадчыннай зменлівасці з'яўляюцца важнейшым фактарам эвалюцыі, якая забяспечвае адаптацыю папуляцый і відаў да ўмоў асяроддзя, якія змяняюцца.

Генатыпічная зменлівасць ляжыць у аснове практычнай селекцыі пры стварэнні новых парод жывёл, сартоў раслін і штамаў мікраарганізмаў. Так, у цяперашні час практычна ўся сусветная вытворчасць антыбіётыкаў заснавана на выкарыстанні высокапрадукцыйных штамаў мікраарганізмаў, атрыманых пад уздзеяннем мутагенаў. Выкарыстанне мутагенаў у селекцыі раслін дазволіла атрымаць новыя, больш прадукцыйныя і лепш прыстасаваныя да ўмоў асяроддзя, сарты *пшаніцы, жыта, ячменю, гароху* і іншых культур.

?

1. Што такое камбінатыўная зменлівасць? Прывядзіце прыклады. Назавіце крыніцы камбінатыўнай зменлівасці.

2. Дайце азначэнне паняццям «мутацыя», «мутагенез», «мутаген». На якія групы прынята дзяліць мутагены? Прывядзіце прыклады.

3. Ахарактарызуйце асноўныя тыпы генных, храмасомных і геномных мутацый.

4. Якія тыпы мутацый выдзяляюць паводле паходжання? Паводле тыпу мутыраваных клетак? Паводле ўплыву на жыццядзейнасць і пладавітасць арганізмаў?

5. У чым заключаецца прынцыповае адрозненне паміж камбінатыўнай і мутацыйнай зменлівасцю? Чым адрозніваецца мутацыйная зменлівасць ад мадыфікацыйнай?

6. У чым заключаецца сутнасць і практычнае значэнне закона гамалагічных радоў спадчыннай зменлівасці?

7. У пшаніцы-аднazярнянкі гаметы змяшчаюць па 7 храмасом. Колькі храмасом утрымліваецца ў саматычных клетках мутантаў пшаніцы-аднazярнянкі, калі да ўзнікнення мутантнай формы прывяла нулісомія? Манасомія? Трыплаідыя? Трысомія? Тэтраплаідыя? Тэтрасомія?

8. Чорная афарбоўка шэрсці ў кошак дамінуе над рыжай, гетэразіготныя кошкі валодаюць чарапахавай афарбоўкай — чорныя плямы чаргуюцца з рыжымі. Гены, якія кантралююць колер шэрсці, размешчаны ў *X*-храмасоме. Тэарэтычна катоў, г. зн. самцоў, з чарапахавай афарбоўкай не павінна быць (чаму?), аднак часам яны нараджаюцца. Як растлумачыць гэтую з'яву? Як вы лічыце, якія яшчэ асаблівасці (акрамя незвычайнай афарбоўкі) характэрны для чарапахавых катоў?

§ 48. Асаблівасці спадчыннасці і зменлівасці чалавека

Асноўныя заканамернасці спадчыннасці і зменлівасці, устаноўленыя для арганізмаў, універсальныя, значыць, справядлівы і для **чалавека**. Аднак як аб'ект генетычных даследаванняў, чалавек мае свае асаблівасці.

Для людзей немагчыма эксперыментальна атрымаць мутацыі, не прымяняецца і гібрыдалагічны метад. Акрамя таго, генетычны аналіз ускладняецца шэрагам фактараў: вялікай колькасцю храмасом, малой колькасцю патомкаў у сям'і, па-

вольнай зменай пакаленняў (адно пакаленне — у сярэднім 30 гадоў), шырокім генатыпічным і фенатыпічным поліфармізмам (разнастайнасцю) і г. д.

Разам з тым дзякуючы дакладнаму аналізу выбарак з вялікай колькасці шлюбных пар, магчымасці ўліку сем'яў з прыметамі, якія цікавяць, эксперыментам над саматычнымі клеткамі чалавека, распрацоўцы навейшых метадаў работы з ДНК і многаму іншаму генетыка чалавека ў апошнія гады дасягнула значных поспехаў.

У сучаснай генетыцы чалавека выкарыстоўваюцца як класічныя метады даследаванняў (генеалагічны, блізнятны, цытагенетычны, папуляцыйна-статыстычны, дэрматагліфічны), так і новыя — біяхімічныя і малекулярна-генетычныя.

Генеалагічны метад заснаваны на пабудове і вывучэнні радаслоўных. З дапамогай гэтага метаду можна высветліць, ці наследуюцца вывучаемыя прыметы, вызначыць тып наследавання (дамінантны ці рэцэсіўны, счэплены з полам або аўтасомны) і тып узаемадзеяння генаў. Генеалагічны метад выкарыстоўваецца для дыягностыкі спадчынных захворванняў і медыка-генетычнага кансультавання.

З дапамогай генеалагічнага метаду даказаны спадчынны характар многіх прымет і захворванняў. Класічным прыкладам рэцэсіўнага, счэпленага з *X*-храмасомай захворвання з'яўляецца гемафілія, наследаванне якой дакладна прасочваецца па радаслоўных сем'яў, якія царствавалі ў Еўропе (мал. 109). Аналагічны тып наследавання маюць атрафія зрокавага нерва і дальтанізм. Прыкладамі дамінантных захворванняў, счэпленых з *X*-храмасомай, могуць быць гіпаплазія (станчэнне) эмалі зубоў, а таксама спадчынная форма рахіту, якая не лечыцца вітамінам D.

Да захворванняў з аўтасомна-дамінантным тыпам наследавання адносяцца полідактылія (шасціпаласць), брахідактылія (караткапаласць), ахандраплазія (карлікавасць) і інш. Многія захворванні чалавека маюць аўтасомна-рэцэсіўны тып наследавання (фенілкетанурыя, альбінізм, спадчынныя формы цукровага дыябету і інш.).

Блізнятны метад заключаецца ў параўнальным вывучэнні развіцця прымет у блізнят. Упершыню ён быў прапанаваны англійскім антраполагам і псіхолагам Ф. Гальтонам у 1875 г. Дадзены метад дазваляе вызначыць уклад генетычных фактараў і ўмоў асяроддзя (клімат, харчаванне, лад жыцця і г. д.) у развіццё канкрэтных фенатыпічных прымет чалавека.

Пры выкарыстанні блізнятнага метаду праводзіцца параўнанне монозіготных (аднаяйцавых) блізнят як аднога з другім, так і з дызіготнымі (рознаяйцавымі) блізнятамі і з агульнай папуляцыяй.

Мал. 109. Генеалагічнае дрэва сем'яў, царстваваўшых у Еўропе, якое ілюструе наследаванне гемафіліі

Моназіготныя блізняты развіваюцца з адной зіготы, якая на стадыі драблення дала пачатак двум або больш эмбрыёнам. З генетычнага пункту гледжання яны ідэнтычныя, паколькі валодаюць аднолькавым генатыпам. Адпаведна, яны вельмі падобныя знешне, заўсёды аднаго полу, маюць аднолькавую групу крыві, аднолькавыя адпячаткі пальцаў і г. д.

Дызіготныя блізняты развіваюцца ў тым выпадку, калі адначасова адбылося апладненне дзвюх розных яйцаклетак двума сперматазоідамі. Адпаведна, такія блізняты маюць розныя генатыпы і падобныя паміж сабой не больш чым звычайныя браты і сёстры. У сярэднім частата нараджэння блізнят складае каля 1 %, з іх $\frac{2}{3}$ прыходзіцца на рознаяйцавых.

Цытагенетычны метад заснаваны на мікраскапічным вывучэнні храмасом. У 1956 г. шведскія цытолагі Д. Тыа і А. Леван вызначылі наяўнасць у чалавека 46 храмасом (гл. мал. 100), што дало пачатак шырокаму вывучэнню храмасом чалавека.

У 1959 г. была ўстаноўлена храмасомная прырода сіндрому Даўна. У далейшым былі апісаны і іншыя храмасомныя хваробы чалавека. У выніку цытагенетыка стала важнейшым раздзелам практычнай медыцыны. У цяперашні час цытагенетычны метад шырока прымяняецца для дыягностыкі храмасомных хвароб, вывучэння мутацыйнага працэсу і г. д.

Папуляцыйна-статыстычны метад звязаны з вывучэннем спадчынных прымет у вялікіх групах насельніцтва (папуляцыях), важнай умовай пры гэтым з'яўляецца статыстычная апрацоўка атрыманых даных. Папуляцыйна-статыстычны метад дазваляе вызначаць частату сустракаемасці ў папуляцыях пэўных генаў, генатыпаў і фенатыпаў, даследаваць заканамернасці мутацыйнага працэсу, выяўляць ролю генатыпу і ўмоў асяроддзя ва ўзнікненні спадчынных захворванняў і інш.

Дэрматагліфічны метад заснаваны на вывучэнні рэльефу скуры на пальцах, далонях і падэшвах ступняў. У адрозненне ад іншых частак цела тут ёсць эпідэрмальныя выступы, якія ўтвараюць складаныя ўзоры — дугі, петлі, завіткі (мал. 110). Малюнак на пальцах строга індывідуальны і можа супасці толькі ў моназіготных блізнят. Класіфікацыя ўзораў была распрацавана Ф. Гальтонам.

У XX ст. дэрматагліфічны метад шырока выкарыстоўваўся для дыягностыкі некаторых спадчынных захворванняў і вызначэння зіготнасці блізнят. Ён таксама прымяняўся для ўстанаўлення бацькоўства, у судовай медыцыне і крыміналістыцы з мэтай ідэнтыфікацыі асобы. У цяперашні час выкарыстанне метадаў дэрматагліфікі стала больш абмежаваным у сувязі са з'яўленнем новых, больш сучасных метадаў — біяхімічных і малекулярна-генетычных.

Мал. 110. Асноўныя тыпы дэрматагліфічных узораў

Многія спадчынныя захворванні чалавека абумоўлены геннымі мутацыямі, у выніку якіх змяняецца структура адпаведных бялкоў. У большасці выпадкаў такія бялкі з'яўляюцца няздольнымі ў поўнай меры выконваць свае функцыі або цалкам страчваюць біялагічную актыўнасць. Гэта прыводзіць да розных парушэнняў абмену рэчываў і адлюстроўваецца не толькі на хімічным саставе асобных клетак і тканак, але і на біяхімічных паказчыках крыві, спіннамазгавой вадкасці, мачы, поту і г. д.

Значыць, генныя мутацыі можна вызначаць з дапамогай ***біяхімічных метадаў***. Яны заснаваны на якасным і колькасным аналізе пэўных рэчываў, перш за ўсё ферментаў і прадуктаў каталізуемых імі рэакцый. Выкарыстанне сучасных біяхімічных метадаў дазваляе вызначаць любыя спецыфічныя метабаліты, характэрныя для канкрэтнай спадчыннай хваробы. Біяхімічныя метады даюць магчымасць не толькі дыягнаставаць захворванні і сачыць за ходам іх лячэння, але і выяўляць гетэразіготных носьбітаў дэфектных генаў, вызначаць спадчынную схільнасць да розных захворванняў. У шэрагу выпадкаў гэта магчыма ажыццявіць яшчэ да нараджэння чалавека, на этапе эмбрыянальнага развіцця.

Метад саматычнай гібрыднасці дазваляе вывучаць гібрыдныя клеткі арганізмаў розных відаў (*чалавек — мыш*, *чалавек — камар* і г. д.) шляхам зліцця саматычных клетак у лабараторных умовах. У такіх клетках функцыянуюць храмасомы абодвух відаў, адбываецца сінтэз адпаведных бялкоў. Аднак пры дзяленні гібрыдныя клеткі паступова страчваюць чалавечыя храмасомы. Гэта звязана з тым, што зыходныя клеткі чалавека «не прывыклі» дзяліцца так інтэнсіўна, як, напрыклад, клеткі мышы або камара. Калі гібрыдная клетка губляе якую-небудзь храмасому, у ёй перастаюць сінтэзавацца пэўныя бялкі. Таму можна меркаваць, што гены, якія кадзіруюць гэтыя бялкі, размешчаны ў «згубленай»

храмасоме. Метад саматычнай гібрыдызацыі дазваляе ўстанаўліваць групы счаплення і высвятляць паслядоўнасць размяшчэння генаў у храмасомах, г. зн. будаваць генетычныя карты храмасом чалавека.

Малекулярна-генетычныя метады — вялікая і разнастайная група метадаў, якія дазваляюць аналізаваць фрагменты нуклеінавых кіслот, знаходзіць і выдзяляць асобныя гены, вызначаць у іх паслядоўнасць нуклеатыдаў і г. д.

Пошук пэўных генаў або іх фрагментаў можна ажыццяўляць шляхам **гібрыдызацыі ДНК**. Для гэтага да ўзораў даследуемай ДНК дадаюць спецыяльныя зонды — штучна сінтэзаваныя ланцужкі ДНК з вядомай паслядоўнасцю нуклеатыдаў. ДНК-зонд ствараюць такім чынам, каб ён мог камплементарна звязацца з шукаемым генам, а таксама змяшчаў радыеактыўную метку або метку, якая свеціцца. Метка патрэбна для выяўлення зонда пасля таго, як ён звяжацца з цікавым для нас участкам ДНК. Гэты метад дазваляе выяўляць адзіны ген сярод дзясяткаў тысяч.

Выдзяленне генаў (або іх фрагментаў) адбываецца з дапамогай спецыяльных ферментаў, якія разрэзваюць малекулы ДНК у строга вызначаных месцах. Калі атрыманых фрагментаў становіцца недастаткова для наступнага аналізу, іх можна «размножыць» з дапамогай **полімеразнай ланцуговай рэакцыі** (**ПЦР**). Гэты працэс працякае па тым жа прынцыпе, што і падваенне ДНК у клетках, і фактычна ўяўляе сабой шматразовую рэплікацыю ў штучна створаных умовах. З дапамогай ПЦР можна за некалькі гадзін стварыць мільёны копій зыходнага фрагмента ДНК.

Для «прачытання» генаў і выяўлення любых тыпаў генных мутацый прымяняецца **секвеніраванне** (ад англ. *sequence* — паслядоўнасць), г. зн. вызначэнне паслядоўнасці нуклеатыдаў ДНК. У 1990 г. стартаваў міжнародны навукова-даследчы праект «Геном чалавека», у працэсе якога шляхам секвеніравання была вызначана нуклеатыдная паслядоўнасць ДНК усіх храмасом чалавека.

Выяўлена, што ДНК чалавека, а таксама жывёл і раслін утрымлівае асобныя паслядоўнасці нуклеатыдаў, якія паўтараюцца. Іх структура і размяшчэнне ў храмасомах унікальнае для кожнага чалавека, як адпячаткі пальцаў, і супадае толькі ў аднаяйцавых блізнят. Аналіз такіх паслядоўнасцей выкарыстоўваецца для ідэнтыфікацыі асобы або вызначэння роднасці. Гэты метад атрымаў назву **геннай дактыласкапіі**.

?

1. Які метад не прымяняецца ў генетыцы чалавека: цытагенетычны, генеалагічны, блізнятны, гібрыдалагічны, дэрматагліфічны?

2. Якія асаблівасці чалавека як аб'екта генетыкі ўскладняюць вывучэнне яго спадчыннасці і зменлівасці?

3. Якія асноўныя метады вывучэння спадчыннасці і зменлівасці чалавека?

4. Якім чынам параўнальнае вывучэнне блізнят дазваляе выявіць ролю генатыпу і ўмоў асяроддзя ў фарміраванні канкрэтных прымет арганізма?
5. Якія метады генетыкі чалавека можна выкарыстаць для выяўлення генных мутацый? Храмасомных і геномных мутацый?
6. Ахарактарызуйце асноўныя малекулярна-генетычныя метады, якія выкарыстоўваюцца для вывучэння спадчыннасці і зменлівасці чалавека.
7. Спадчынная форма цукровага дыябету абумоўлена рэцэсіўным аўтасомным генам. Абследаванне насельніцтва буйнога ізаляванага вострава паказала, што 1 % людзей, якія пражываюць на гэтым востраве, хварэюць прыроджаным цукровым дыябетам. Якую долю (%) сярод здаровага насельніцтва вострава складаюць гетэразіготныя носьбіты гэтага захворвання?

§ 49. Спадчынныя хваробы чалавека

Праблема здароўя чалавека і генетыка цесна ўзаемазвязаны. У цяперашні час вядома больш чым 5500 спадчынных хвароб чалавека. Сярод іх выдзяляюць генныя і храмасомныя хваробы, а таксама захворванні са спадчыннай схільнасцю.

Генныя хваробы — гэта значная група захворванняў, якія ўзнікаюць у выніку пашкоджанняў ДНК на ўзроўні гена. Звычайна дадзеныя захворванні вызначаюцца адной парай алельных генаў і наследуюцца ў адпаведнасці з законамі Г. Мендэля. Паводле тыпу наследавання выдзяляюць аўтасомна-дамінантныя, аўтасомна-рэцэсіўныя і счэпленыя з полам захворванні. Агульная частата генных захворванняў у чалавечых папуляцыях складае 2—4 %.

Большасць генных захворванняў звязана з мутацыямі ў пэўных генах, што прыводзіць да змянення структуры і функцый адпаведных бялкоў і праяўляецца фенатыпова. Да генных захворванняў адносяцца шматлікія парушэнні абмену рэчываў (вугляводаў, ліпідаў, амінакіслот, металаў і інш.). Акрамя таго, генныя мутацыі могуць з'яўляцца прычынай няправільнага развіцця і функцыянавання пэўных органаў і тканак. Так, дэфектыўнымі генамі абумоўлены спадчынная глухата, атрафія зрокавага нерва, шасціпаласць, кароткапаласць і многія іншыя паталагічныя прыметы.

Прыкладам травай хваробы, звязанай з парушэннем амінакіслотнага абмену, з'яўляецца **фенілкетанурыя**. Гэта аўтасомна-рэцэсіўнае захворванне з частатой сустракаемасці 1 : 8000 нованароджаных. Яно выклікана дэфектам гена, які кадзіруе фермент, што ператварае амінакіслату фенілаланін у другую амінакіслату — тыразін. Дзеці з фенілкетанурыяй нараджаюцца знешне здаровымі, аднак дадзены фермент у іх неактыўны. Таму фенілаланін збіраецца ў арганізме і ператвараецца ў шэраг таксічных рэчываў, якія пашкоджваюць нервовую сістэму дзіцяці.

У выніку гэтага развіваюцца парушэнні мышачнага тонусу і рэфлексаў, сутаргі, пазней далучаецца адставанне ў разумовым развіцці. Пры своечасовым вызначэнні дыягназу (на ранніх этапах развіцця дзіцяці) фенілкетанурыя паспяхова лечыцца з дапамогай спецыяльнай дыеты з нізкім утрыманнем фенілаланіна. Строгая дыета не абавязковая на працягу ўсяго жыцця, паколькі нервовая сістэма дарослага чалавека больш устойлівая да таксічных прадуктаў абмену фенілаланіну.

У выніку мутацыі гена, які адказвае за сінтэз аднаго з бялкоў злучальнатканкавых валокнаў, развіваецца **сіндром Марфана**. Гэта захворванне наследуецца паводле аўтасомна-дамінантнага тыпу. Хворых адрознівае высокі рост, доўгія канечнасці, вельмі доўгія «павучыныя» пальцы, плоскаступнёвасць, дэфармацыя груднай клеткі (мал. 111). Акрамя таго, захворванне можа суправаджацца недаразвіццем мышцаў, касавокасцю, катарактай, прыроджанымі парокамі сэрца і г. д. Варта адзначыць, што сіндромам Марфана хварэлі такія вядомыя людзі, як Н. Паганіні і А. Лінкальн.

Мал. 111. Характэрныя прыметы сіндрому Марфана

Другім прыкладам геннай хваробы з'яўляецца **гемафілія** — спадчыннае парушэнне згусальнасці крыві. Гэта рэцэсіўнае захворванне, счэпленае з *X*-храмасомай, абумоўлена зніжэннем або парушэннем сінтэзу пэўнага фактару згусання крыві. Пры цяжкай форме гемафіліі крывацёкі, небяспечныя для жыцця хворага, могуць быць выкліканы нават нязначнай на першы погляд траўмай. Лячэнне хворых гемафіліяй заснавана на ўвядзенні недастаючага фактару згусання.

Храмасомныя хваробы абумоўлены храмасомнымі і геномнымі мутацыямі, г. зн. звязаны са змяненнем структуры або колькасці храмасом. Сярод іх можна выдзеліць анамаліі палавых храмасом, трысоміі па аўтасомах, а таксама структурныя парушэнні храмасом.

Да сіндромаў з лікавымі анамаліямі палавых храмасом адносяцца: сіндром Шарашэўскага — Тэрнера, сіндром палісоміі па *X*-храмасоме ў жанчын, сіндром Кляйнфельтэра і інш. Прычынай дадзеных захворванняў з'яўляецца парушэнне разыходжання палавых храмасом пры ўтварэнні гамет.

Мал. 112. Дзяўчынка з сіндромам Шарашэўскага — Тэрнера

Сіндром Шарашэўскага — Тэрнера развіваецца ў дзяўчынак з храмасомным наборам 44*A* + *X*0 (адсутнічае другая *X*-храмасома). Частата сустракаемасці 1 : 3000 нованароджаных дзяўчынак. Для хворых характэрны нізкі рост (у сярэднім 140 см), кароткая шыя з глыбокімі скуранымі складкамі ад патыліцы да плячэй, скарачэнне 4-га і 5-га пальцаў рук, адсутнасць або слабае развіццё другасных палавых прымет, бясплоднасць (мал. 112). У 50 % выпадкаў назіраецца разумовая адсталасць або схільнасць да псіхозаў.

Сіндром палісоміі па *X*-храмасоме ў жанчын можа быць абумоўлены трысоміяй (набор 44*A* + *XXX*), тэтрасоміяй (44*A* + *XXXX*) або пентасоміяй (44*A* + *XXXXX*). Трысомія сустракаецца з частатой 1 : 1000 нованароджаных дзяўчынак. Праяўленні дастаткова разнастайныя: адзначаецца нязначнае зніжэнне інтэлекту, магчыма развіццё псіхозаў і шызафрэніі, парушэнне функцый яечнікаў. Пры тэтрасоміі і пентасоміі павышаецца верагоднасць разумовай адсталасці, адзначаецца недаразвіццё першасных і другасных палавых прымет.

Сіндром Кляйнфельтэра назіраецца з частатой 1 : 500 нованароджаных хлопчыкаў. Хворыя маюць лішнюю *X*-храмасому (44*A* + *XXY*). Захворванне праяўляецца ў перыяд палавога паспявання і выражаецца ў недаразвіцці палавых органаў і другасных палавых прымет. Для мужчын з дадзеным сіндромам характэрны высокі рост, жаночы тып целаскладу (вузкія плечы, шырокі таз), павялічаныя малочныя залозы, слабы рост валасоў на твары. У хворых парушаны працэс сперматагенезу, і ў большасці выпадкаў яны бясплодныя. Адставанне інтэлектуальнага развіцця назіраецца толькі ў 5 % выпадкаў.

Вядомы таксама сіндром **дысоміі па *Y*-храмасоме** (44*A* + *XYY*). Ён назіраецца з частатой 1 : 1000 нованароджаных хлопчыкаў. Звычайна мужчыны з гэтым сіндромам не адрозніваюцца ад нормы па разумовым і фізічным развіцці. Магчыма некаторае павелічэнне росту вышэй сярэдняга, нязначнае зніжэнне інтэлекту, схільнасць да агрэсіі.

Мал. 113. Дзяўчынка з сіндромам Даўна

Сярод аўтасомных трысомій найбольш распаўсюджаны **сіндром Даўна**, прычынай якога з'яўляецца трысомія па 21-й храмасоме. Частата захворвання ў сярэднім складае 1 : 700 нованароджаных. Хворыя характарызуюцца нізкім ростам, круглым уплошчаным тварам, манталоідным разрэзам вачэй з эпікантусам — навісаючай складкай над верхнім павекам, маленькімі дэфармаванымі вушамі, выступаючай сківіцай, маленькім носам з шырокай плоскай пераносіцай, парушэннямі разумовага развіцця (мал. 113). Хвароба суправаджаецца зніжэннем імунітэту, парушэннем работы эндакрынных залоз. Каля палавіны хворых маюць парокі развіцця сардэчна-сасудзістай сістэмы.

Сустракаюцца таксама захворванні, звязаныя з трысоміяй па 13-й і 18-й храмасомах. Дзеці з дадзенымі анамаліямі звычайна паміраюць у раннім узросце ў сувязі са шматлікімі парокамі развіцця.

Каля 90 % ад агульнай колькасці спадчынных паталогій чалавека складаюць ***захворванні са спадчыннай схільнасцю***. Да найбольш часта сустракаемых хвароб дадзенага тыпу адносяцца: рэўматызм, цыроз печані, цукровы дыябет, гіпертанія, ішэмічная хвароба сэрца, шызафрэнія, бранхіяльная астма і інш.

Галоўнае адрозненне гэтых захворванняў ад генных і храмасомных заключаецца ў значным уплыве ўмоў навакольнага асяроддзя і ладу жыцця чалавека на развіццё хваробы. Вызначанае спалучэнне знешніх фактараў можа справакаваць ранняе развіццё хваробы. Напрыклад, курэнне можа стымуляваць развіццё бранхіяльнай астмы, гіпертанічнай хваробы і г. д.

Прафілактыка, дыягностыка і лячэнне спадчынных захворванняў мае вялікае значэнне. Для гэтага ў многіх краінах свету, у тым ліку і ў Беларусі, створана сетка ўстаноў, якія забяспечваюць медыка-генетычнае кансультаванне насельніцтва. Асноўная мэта медыка-генетычнага кансультавання — папярэджванне нараджэння дзяцей са спадчыннымі захворваннямі.

Генетычная кансультацыя і дародавая дыягностыка **абавязковыя** ў выпадках, калі бацькі будучага дзіцяці:

- з'яўляюцца сваякамі (пры блізкароднасным шлюбе ў некалькі разоў павышаецца верагоднасць нараджэння дзяцей з рэцэсіўнымі спадчыннымі захворваннямі);

- старэй за 35 гадоў;
- працуюць на шкоднай вытворчасці;
- маюць генетычна неблаганадзейных сваякоў або ўжо маюць дзяцей з прыроджанай паталогіяй.

Прымяненне комплекса дыягнастычных метадаў (генеалагічнага, цыталагічнага, біяхімічных і інш.) дазваляе разлічыць рызыку нараджэння дзіцяці са спадчыннай анамаліяй, на ранніх этапах развіцця вызначыць прычыны захворвання і прымяніць адпаведныя метады лячэння. Трэба адзначыць, што курэнне, ужыванне алкаголю і наркотыкаў маці або бацькам будучага дзіцяці значна павышаюць верагоднасць нараджэння дзіцяці са спадчыннымі захворваннямі.

У выпадку нараджэння хворага дзіцяці пры своечасовым выяўленні шэрага спадчынных захворванняў магчыма медыкаментознае, дыетычнае або гарманальнае лячэнне.

?

1. Якія тыпы спадчынных захворванняў чалавека выдзяляюць?

2. Якія генныя хваробы вы можаце назваць? Якія іх прычыны?

3. Назавіце і ахарактарызуйце вядомыя вам храмасомныя хваробы чалавека. Якія іх прычыны?

4. Якія фактары могуць садзейнічаць развіццю захворванняў са спадчыннай схільнасцю?

5. Якія асноўныя задачы медыка-генетычнага кансультавання?

6. Для людзей з якімі спадчыннымі захворваннямі магчыма прымяненне гарманальнага лячэння? Дыетатэрапіі?

7. Нараджэнне дзяцей з якімі храмасомнымі хваробамі магчыма, калі ў бацькі меёз працякае нармальна, а ў маці палавыя храмасомы не разыходзяцца (абедзьве перамяшчаюцца да аднаго полюса клеткі)? Ці калі ў маці меёз працякае нармальна, а ў бацькі назіраецца неразыходжанне палавых храмасом?

8. Калі дзяцей, гомазіготных паводле гена фенілкетанурыі, з першых дзён жыцця гадуюць на дыеце з нізкім утрыманнем фенілаланіну, хвароба не развіваецца. Ад шлюбаў такіх людзей са здаровымі гомазіготнымі мужчынамі і жанчынамі звычайна нараджаюцца здаровыя гетэразіготныя дзеці. Аднак вядома нямала выпадкаў, калі ў жанчын, якія выраслі на дыеце і выйшлі замуж за здаровых гомазіготных мужчын, усе дзеці з'яўляліся разумова адсталымі. Чым гэта можна растлумачыць?

Глава 7 Селекцыя і біятэхналогія

§ 50. Селекцыя, яе задачы і асноўныя напрамкі

Селекцыя (ад лац. *селекцыа* — адбор, выбар) — гэта навука аб стварэнні новых і паляпшэнні ўжо існуючых сартоў культурных раслін, парод свойскіх жывёл і штамаў мікраарганізмаў з каштоўнымі для чалавека прыметамі і ўласцівасцямі. **Сортам**, **пародай** або **штамам** называюць штучна створаную чалавекам сукупнасць арганізмаў аднаго віду, якія маюць пэўныя спадчынна замацаваныя прыметы і ўласцівасці, а таксама аднатыпную рэакцыю на дзеянне фактараў навакольнага асяроддзя.

Узнікненне і развіццё селекцыі як навукі было звязана з неабходнасцю рашэння такой жыццёва важнай праблемы ўсяго чалавецтва, як харчовая. Для гэтага трэба не толькі пастаянна ўдасканальваць традыцыйныя метады вядзення сельскай гаспадаркі (унясенне аптымальных доз угнаенняў, ажыццяўленне комплексу мер па захаванні і павышэнні ўрадлівасці глебы і інш.), але таксама выкарыстаць новыя навуковыя метады вытворчасці прадуктаў харчавання ва ўмовах інтэнсіўнага земляробства.

Магчымасці павелічэння прадукцыі сельскай гаспадаркі экстэнсіўным шляхам, г. зн. шляхам павелічэння пасяўных плошчаў, ужо даўно вычарпаны. Таму самым эфектыўным і найбольш эканамічна выгадным спосабам павышэння прадукцыйнасці сельгасвытворчасці з'яўляецца селекцыя высокапрадукцыйных форм жывых арганізмаў. Напрыклад, так званую «зялёную рэвалюцыю» ў земляробстве Мексікі, Індыі і шэрага іншых краін абумовіла ўкараненне нізкарослых, паўкарлікавых і карлікавых сартоў *рысу, пшаніцы* і іншых збожжавых культур. Яны характарызуюцца не толькі ўстойлівасцю да палягання, але і высокай прадукцыйнасцю. У выніку ўраджайнасць адпаведных збожжавых культур вырасла больш чым у 2 разы.

Асноўнымі напрамкамі сучаснай селекцыі з'яўляюцца наступныя.

1. Атрыманне высокаўраджайных сартоў раслін, высокапрадукцыйных парод жывёл і штамаў мікраарганізмаў.

2. Павышэнне якасці прадукцыі (напрыклад, смаку, знешняга выгляду, здольнасці да доўгага захоўвання, утрымання бялкоў, вугляводаў, вітамінаў і інш.).

3. Удасканаленне фізіялагічных уласцівасцей раслін, жывёл і мікраарганізмаў (скараспеласці, устойлівасці да хвароб, шкоднікаў, неспрыяльных умоў асяроддзя і г. д.).

4. Інтэнсіфікацыя развіцця (напрыклад, у раслін — павышэнне «спагадлівасці» на ўгнаенні і паліў, у жывёл — павелічэнне так званай «аплаты» за корм).

На сённяшні дзень можна сказаць, што ў шэрагу выпадкаў селекцыя ўжо дасягнула нейкай мяжы: напрыклад, ёсць пароды *курэй*, якія нясуць яйкі практычна кожны дзень. Далейшая селекцыйная работа вядзецца ў напрамку павышанай

«аплаты» корму (г. зн. стварэння парод, якія даюць найбольшы выхад прадукцыі пры найменшых затратах корму) з улікам індустрыялізацыі аграпрамысловага комплексу. Напрыклад, выведзены пароды курэй, якія не зніжаюць прадукцыйнасці ва ўмовах вялікай скучанасці жывёл на птушкафабрыках, а таксама сарты агароднінных культур, якія даюць высокія ўраджаі пры вырошчванні ў цяпліцах.

Сучасная селекцыя вядзецца з улікам патрэб рынку сельскагаспадарчай прадукцыі і канкрэтных галін прамысловай вытворчасці. Другімі словамі, праводзіцца спецыялізаваная селекцыя. Напрыклад, для выпечкі высокаякаснага хлеба з эластычным мякішам і хрусткай скарынкай неабходны так званыя ш к л о п а д о б н ы я сарты мяккай *пшаніцы* з высокім утрыманнем пругкай клейкавіны (не менш за 30 %). Толькі ў гэтым выпадку са 100 г зерня можна атрымаць батон аб’ёмам 1000 см^3, паколькі эластычная клейкавіна ўтрымлівае вуглякіслы газ, які выдзяляецца пры браджэнні. Для прыгатавання вышэйшых сартоў пячэння неабходны м у ч н і с т ы я сарты мяккай пшаніцы, а макароны вырабляюцца з сартоў ц в ё р д а й пшаніцы.

Поспех работы селекцыянера ў многім залежыць ад правільнасці выбару зыходнага матэрыялу (канкрэтных відаў, сартоў, парод або штамаў). Пошук патрэбных форм вядзецца ў пэўнай паслядоўнасці, з улікам сусветнага генафонду. Перш за ўсё выкарыстоўваюцца мясцовыя формы з патрэбнымі прыметамі і ўласцівасцямі, затым пры неабходнасці бяруцца і адаптуюцца формы з іншых краін або кліматычных зон і, нарэшце, выкарыстоўваюцца самыя сучасныя метады селекцыйнай работы.

Для выкарыстання ў селекцыі рознага зыходнага матэрыялу (рэдкіх дзікіх форм, сартоў, знятых з вытворчасці, і г. д.) ствараюцца спецыялізаваныя генетычныя банкі дадзеных. Прыкладам такога банка з’яўляецца калекцыя Усерасійскага інстытута раслінаводства імя І. І. Вавілава. У цяперашні час яна налічвае больш за 213 000 узораў культурных раслін і іх дзікіх сародзічаў, якія шырока выкарыстоўваюцца селекцыянерамі розных краін у якасці зыходнага матэрыялу для стварэння новых сартоў збожжавых, пладовых, агароднінных, тэхнічных, лекавых і іншых культур.

Вызначальная роля ў рашэнні практычна ўсіх задач селекцыі належыць генетыцы. Яна дапамагае рацыянальна планаваць селекцыйны працэс з улікам асаблівасцей наследавання кожнай канкрэтнай прыметы. Павелічэнне эфектыўнасці работы селекцыянераў стала магчымым дзякуючы прымяненню законаў і метадаў генетыкі, у прыватнасці закона гамалагічных радоў спадчыннай зменлівасці, эксперыментальнага мутагенезу, метадаў ранняй дыягностыкі селекцыйнай перспектыўнасці зыходнага матэрыялу і эфектыўнага адбору найбольш каштоўных генатыпаў з патрэбным комплексам прымет і ўласцівасцей.

Разам з тым селекцыя абапіраецца і на дасягненні іншых навук: сістэматыкі і геаграфіі раслін і жывёл, мікрабіялогіі, цыталогіі, эмбрыялогіі, біялогіі індывідуальнага развіцця, малекулярнай біялогіі, фізіялогіі і біяхіміі. Бурнае развіццё гэтых напрамкаў прыродазнаўства адкрывае зусім новыя перспектывы. Шырокае выкарыстанне метадаў біятэхналогіі дазволіла значна паскорыць селекцыйны працэс і паставіць яго на якасна новую аснову. На сённяшні дзень селекцыя ўжо выйшла на ўзровень мэтанакіраванага канструявання арганізмаў з патрэбнымі прыметамі і ўласцівасцямі.

?

1. Што такое селекцыя? Што збліжае паняцці «сорт», «парода» і «штам»? У чым заключаюцца іх адрозненні?

2. Якое паняцце шырэй: «парода» або «від»? «Від» ці «сорт»? Прывядзіце прыклады, якія пацвярджаюць ваш адказ.

3. Пазнаёмцеся з наступным спіскам: «Дзве нямецкія аўчаркі, адна такса, сіямскі кот, дзве сіямскія кошкі, трое шчанят дабермана, персідская кошка». Колькі відаў жывых арганізмаў прыведзена ў спіску? Колькі парод? Колькі асобін?

4. Якія асноўныя напрамкі сучаснай селекцыі? Прывядзіце прыклады.

5. Што на практыцы азначаюць выразы: «у раслін павысілася чуласць на ўгнаенні» і «ўзрасла аплата за корм жывёламі»?

6. Якое значэнне для селекцыі мае адбор зыходнага матэрыялу? Як ён ажыццяўляецца?

7. На дасягненні якіх навук абапіраецца сучасная селекцыя?

8. Вядома, што ў раслін з павелічэннем набору храмасом узрастаюць памеры і ўрадлівасць. Напрыклад, ураджай тэтраплоіднай цвёрдай пшаніцы значна пераўзыходзіць ураджай дыплоіднай пшаніцы-адназярнянкі. Чаму ж у апошні час трыплоідныя кавуны і вінаград карыстаюцца большым попытам, чым тэтраплоідныя, у той час як з $3n$ і $4n$ формамі сланечніка і фасолі сітуацыя цалкам процілеглая?

§ 51. Метады і дасягненні селекцыі

Метады селекцыі. У аснове селекцыйнага працэсу ляжыць **штучны адбор** — выбар чалавекам найбольш каштоўных у гаспадарчых адносінах жывёл, раслін і мікраарганізмаў для далейшага атрымання ад іх патомства з жадаемымі прыметамі і ўласцівасцямі. Адрозніваюць два асноўныя віды адбору: масавы і індывідуальны.

Масавы адбор — гэта выдзяленне групы асобін, падобных па адным або некалькіх жадаемых прыметах (г. зн. адбор паводле фенатыпу), без праверкі іх генатыпу. Напрыклад, з тысячы раслін *пшаніцы* таго ці іншага сорту для далейшага размнажэння пакідаюць толькі тыя расліны, якія адрозніваюцца ўстойлівасцю да палягання і маюць буйны колас. У наступных пакаленнях зноў адбіраюць расліны з патрэбнымі якасцямі.

Асноўнымі добрымі якасцямі дадзенага метаду з'яўляюцца яго прастата, эканамічнасць і магчымасць параўнальна хуткага паляпшэння мясцовых сартоў і парод. Недахоп заключаецца ў немагчымасці індывідуальнай ацэнкі патомства, у сілу чаго вынікі адбору няўстойлівыя (у патомстве можа назірацца расшчапленне, а значыць, не ўсе асобіны ўнаследуюць каштоўныя прыметы).

Пры індывідуальным адборы (паводле генатыпу) атрымліваюць і ацэньваюць патомства кожнага асобнага арганізма ў шэрагу пакаленняў пры абавязковым кантролі наследавання прымет, якія цікавяць селекцыянера. На апошніх этапах адбору выкарыстоўваюцца толькі тыя асобіны, якія далі найбольшую колькасць патомкаў з высокімі паказчыкамі.

Падобны адбор найбольш эфектыўны сярод раслін, якія самаапыляюцца (*пшаніца, ячмень* і інш.), паколькі прыводзіць да атрымання чыстых ліній, што валодаюць максімальнай ступенню гомазіготнасці. Пры гэтым ад адной расліны можна атрымаць вялікую колькасць ідэнтычных патомкаў за кошт бясполага і палавога размнажэння.

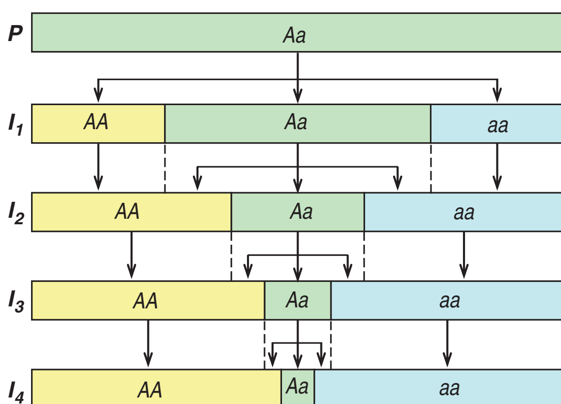
З мэтай павелічэння варыянтаў зыходнага матэрыялу для селекцыі выкарыстоўваецца **індуцыраваны мутагенез**. Так, у многіх збожжавых з дапамогай рэнтгенаўскага выпраменьвання былі атрыманы мутантныя формы з шэрагам карысных прымет. Яны адрозніваюцца павышанай ураджайнасцю, адсутнасцю асцюкоў (мал. 114), скарочаным сцяблом. Такія расліны маюць прыметныя перавагі пры машыннай уборцы ўраджаю. Акрамя таго, кароткая і трывалая саломіна дазваляе весці далейшую селекцыю па павелічэнні памеру і масы зерня без апаскі, што павышэнне ўраджайнасці прывядзе да палягання раслін.

Мал. 114. Асцюкаватая і безасцюковая формы пшаніцы

Для сельскагаспадарчых жывёл характэрна толькі палавое размнажэнне і нешматлікае патомства, таму побач з адборам жывёл-вытворцаў прымяняюцца спецыяльныя метады развядзення, напрыклад **штучнае асемяненне**. Гэты метад дазваляе эфектыўна выкарыстаць генетычны патэнцыял лепшых вытворнікаў. Эканамічны эфект абумоўлены зніжэннем затрат на ўтрыманне вялікага пагалоўя вытворнікаў, а таксама магчымасцю хуткага атрымання шматлікага патомства з гаспадарча карыснымі прыметамі. Напрыклад, выкарыстоўваючы штучнае асемяненне, селекцыянер можа атрымаць ад аднаго быка да 35 000 цялят. Для працяглага

захавання сперматазоідаў выкарыстоўваюць метад глыбокага замарожвання. Сёння ў многіх краінах свету існуюць банкі спермы жывёл з каштоўнымі генатыпамі.

Селекцыйны адбор найбольш эфектыўны ў спалучэнні з пэўнымі тыпамі скрыжавання (метадамі **гібрыдызацыі**). Уся разнастайнасць метадаў унутрывідавой гібрыдызацыі зводзіцца да інбрыдынгу і аўтбрыдынгу.



Мал. 115. Змяненне частот генатыпаў пры інбрыдынгу: I_1, I_2, і г. д. — пакаленні, атрыманыя шляхам інбрыдынгу

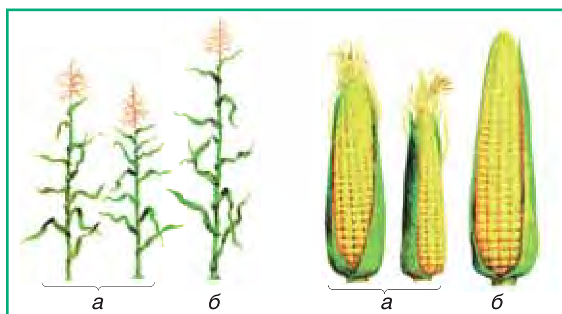
Інбрыдынг — гэта блізкароднаснае скрыжаванне (унутрыпароднае або ўнутрысартавое), пры якім у якасці зыходных форм выкарыстоўваюцца патомкі адных і тых жа бацькоў, або патомкі скрыжоўваюцца з бацькоўскімі формамі. Гэты тып скрыжавання прымяняецца для таго, каб перавесці большасць генаў пароды або сорту ў гомазіготны стан і пазбегнуць расшчаплення па гаспадарча каштоўных прыметах у шэрагу пакаленняў (мал. 115). Разам з тым пры інбрыдынгу часта назіраецца інбрэдная дэпрэсія — зніжэнне жыццяздольнасці і прадукцыйнасці патомства, паколькі ў гомазіготны стан пераходзяць і шкодныя рэцэсіўныя мутацыі.

Аўтбрыдынг — нероднаснае (міжпароднае або міжсартавое) скрыжаванне. Аўтбрыдынг у спалучэнні з living формамі адбору дазваляе ствараць камбінацыю карысных прымет, якія паасобку характарызавалі зыходныя пароды або сарты.

Пры міжпародным або міжсартавым скрыжаванні ўзрастае гетэразіготнасць арганізмаў, у выніку чаго гібрыды першага пакалення часта аказваюцца больш жыццяздольнымі і прадукцыйнымі, чым бацькоўскія формы. Гэтая з'ява называецца гетэрозісам або гібрыднай магутнасцю. У наступных пакаленнях эфект гетэрозісу аслабявае і знікае.

Класічным прыкладам паспяховага прымянення гетэрозісу ў раслінаводстве з'яўляецца *кукуруза* (мал. 116). Атрыманне высокапрадукцыйных гетэрозісных гібрыдаў менавіта гэтай расліны было ўпершыню пастаўлена на прамысловую аснову. Валавыя зборы зерня такіх гібрыдаў аказаліся на 20—30 % вышэй, чым бацькоўскіх арганізмаў. У цяперашні час атрыманне гетэразіготных гібрыдаў шы-

рока выкарыстоўваецца ў раслінаводстве, прамысловым птушкаводстве (бройлерныя кураняты) і свінаводстве.

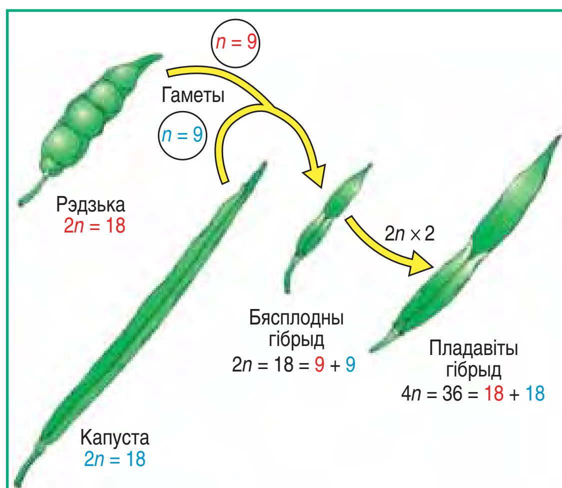


Мал. 116. Агульны выгляд раслін і пачаткаў бацькоўскіх ліній кукурузы (*а*) і гетэрозіснага гібрыда першага пакалення (*б*)

Каштоўныя вынікі таксама дае метад аддаленай гібрыдызацыі, які прадугледжвае скрыжаванне арганізмаў, якія належаць да розных відаў (і нават родаў). Пры гэтым таксама можа назірацца эфект гетэрозіса, але ў большасці выпадкаў гібрыды аказваюцца бясплоднымі. Гэта звязана з тым, што іх храмасомны набор прадстаўлены living рознымі храмасомамі, якія ў меёзе не ўтвараюць пары (не кан'югіруюць). Класічным прыкладам з'яўляецца *мул* — гібрыд *каня* (кабылы) і *асла* (самца). Гэта моцная, вынослівая жывёла, якая можа выкарыстоўвацца ў значна больш цяжкіх умовах, чым абедзве бацькоўскія формы. Аднак мулы бясплодныя.

Для аднаўлення пладавітасці ў міжвідавых гібрыдаў раслін савецкі генетык Г. Д. Карпечанка ў 1924 г. прапанаваў выкарыстаць падваенне ліку храмасом. Кратнае павелічэнне набору храмасом у міжвідавых і міжродавых гібрыдаў атрымала назву **алаплаідыі**. Гэты метад дазваляе пераадолець бясплоднасць дадзеных гібрыдаў, паколькі ўсе іх храмасомы становяцца парнымі і могуць кан'югіраваць у меёзе.

Спалучэнне аддаленай гібрыдызацыі і алаплаідыі дазволіла атрымаць пладавітыя гібрыды *капусты* і *рэдзькі* (мал. 117), *жыта* і *пшаніцы, пшаніцы* і *пырніку* і г. д. Напрыклад, у выніку гібрыдызацыі пшаніцы (*Triticum*) і жыта (*Secale*) атрымалі шэраг форм, аб'яднаных агульнай назвай *трыцікале*. Яны



Мал. 117. Схема атрымання пладавітага гібрыда капусты і рэдзькі

валодаюць высокай урадлівасцю пшаніцы, зімаўстойлівасцю і непераборлівасцю жыта, устойлівасцю да многіх хвароб.

У селекцыі раслін шырока выкарыстоўваецца **аўтапаліплаідыя** — кратнае павелічэнне набору храмасом у пэўнага віду жывых арганізмаў. Гэты метад дазваляе атрымліваць паліплоідныя расліны (4*n*, 6*n*, 8*n* і г. д.). Яны адрозніваюцца буйнымі памерамі (гл. мал. 108), высокай урадлівасцю, павышанай устойлівасцю да хвароб і неспрыяльных фактараў асяроддзя. Каля 80 % сучасных культурных раслін з'яўляюцца паліплоідамі.

Шэраг спецыфічных асаблівасцей мае селекцыя мікраарганізмаў. У іх, як правіла, менш генаў, чым у жывёл і раслін, больш простымі з'яўляюцца механізмы рэгуляцыі геннай актыўнасці. Акрамя таго, у селекцыянера ёсць неабмежаваная колькасць матэрыялу для работы: за лічаныя дні на пажыўных асяроддзях можна вырасціць мільярды клетак. У селекцыі мікраарганізмаў шырока прымяняецца мутагенез, а паколькі большасць мікраарганізмаў гаплоідныя, мутантныя формы можна выявіць ужо ў першым пакаленні. Адбору высокапрадукцыйных штамаў папярэднічае мэтанакіраваная работа селекцыянера з генетычным матэрыялам зыходных мікраарганізмаў. Выкарыстоўваецца камбінаванне генаў шляхам кан'югацыі — абмену генетычным матэрыялам паміж бактэрыямі. Гэта дазволіла, напрыклад, стварыць штам мікраарганізмаў, здольных утылізаваць вуглявадароды нафты.

Дасягненні сучаснай селекцыі. За апошнія 100 гадоў дзякуючы намаганням селекцыянераў урадлівасць збожжавых культур павысілася амаль у 10 разоў. Гэта дае магчымасць у шэрагу краін атрымліваць рэкордныя ўраджаі.

Вялікія поспехі дасягнуты і селекцыянерамі Беларусі. Сарты збожжавых, бабовых, тэхнічных і кармавых культур беларускай селекцыі высока цэняцца не толькі на радзіме, дзе яны займаюць больш чым 75 % пасяўных плошчаў, але і ў другіх краінах.

Пачынаючы з 1920-х гг. беларускімі селекцыянерамі створана больш за 100 сартоў бульбы. Развіваючы распрацоўкі акадэміка П. І. Альсміка, заснавальніка навуковай селекцыі бульбы ў Беларусі, нашы вучоныя паспяхова ствараюць новыя высокапрадукцыйныя сарты (*Блакіт, Зорачка, Магнат*). Многія сарты бульбы беларускай селекцыі ўнесены ў дзяржаўныя рэестры Расіі, Арменіі, Малдовы, Кітая і іншых краін.

Шырокую папулярнасць у рэспубліцы і суседніх краінах атрымалі беларускія сарты ягадных і пладовых культур. Сярод іх сарты чорных парэчак (*Беларуская салодкая*, *Кантата*, *Памяці Вавілава* і інш.) і яблынь (*Антэй*, *Беларуская малінавая* і інш.).

Дасягнуты значныя поспехі ў стварэнні новых і паляпшэнні ўжо існуючых парод жывёл. У выніку працяглай і мэтанакіраванай работы айчыннымі селекцы-

Мал. 118. Беларуская чорна-пярэстая парода буйной рагатай жывёлы

Мал. 119. Жарабец беларускай запражной пароды

янерамі выведзена *беларуская чорна-пярэстая* парода *буйной рагатай жывёлы* (мал. 118), якая ў добрых умовах кармлення і ўтрымання забяспечвае высокія ўдоі малака з заданай тлустасцю і ўтрыманнем бялку.

Працягваецца селекцыйная работа па павелічэнні памеру, масы цела і павышэнні працаздольнасці *коней беларускай запражной* пароды (мал. 119). Вядуцца работы па паляпшэнні прадукцыйнага патэнцыялу *авечак* па настрыгу воўны, масе і пладавітасці, па стварэнні ліній мясных *качак, гусей*, высокапрадукцыйнай пароды *карпа* і інш.

Спецыялістамі селекцыйнага цэнтра БелНДІ жывёлагадоўлі выведзены *беларуская чорна-пярэстая* і *беларуская мясная* пароды *свіней* (мал. 120). Гэтыя пароды адрозніваюцца тым, што жывёлы дасягаюць масы 100 кг за кароткі перыяд, а прыплод складае 10—12 парасят за апарос.

Беларуская чорна-пярэстая

Беларуская мясная

Мал. 120. Пароды свіней беларускай селекцыі

? **1.** Што такое штучны адбор? Якія формы адбору вам вядомы? Параўнайце формы адбору, выявіце перавагі і недахопы кожнай з іх.
2. У якіх галінах селекцыі шырока выкарыстоўваецца мутагенез?
3. З чым звязана інбрэдная дэпрэсія? Чым абумоўлены эфект гетэрозісу?
4. У чым заключаецца прынцыповае адрозненне метада аддаленай гібрыдызацыі і аўтбрыдынгу?
5. Што такое аўтапаліплаідыя? Што такое алаплаідыя? Чаму выкарыстанне метаду алаплаідыі дазваляе пераадолець бясплоднасць міжвідавых гібрыдаў?
6. У чым заключаюцца асаблівасці селекцыйнай работы з мікраарганізмамі?
7. Прывядзіце прыклады найбольш значных дасягненняў беларускіх селекцыянераў.
8. Пры продажы насення на некаторых упакоўках буйным шрыфтам напісана «F_1». Як вы думаеце, чаму селекцыянеры хочуць звярнуць увагу пакупнікоў на гэтае насенне? Чым яно лепшае за астатняе?

§ 52. Асноўныя напрамкі біятэхналогіі

Біятэхналогія, яе аб'екты і асноўныя напрамкі. **Біятэхналогія** — галіна навукі і практычнай дзейнасці, звязаная з вытворчасцю розных прадуктаў пры дапамозе жывых арганізмаў, культываваных клетак і біялагічных працэсаў.

Тэрмін «біятэхналогія» атрымаў шырокае распаўсюджванне параўнальна нядаўна, хоць многія тэхналогіі вытворчасці, заснаваныя на біялагічных працэсах (хлебапячэнне, вінаробства, атрыманне кісламалочных прадуктаў, апрацоўка шкуры — гарбарства і інш.), існуюць з даўніх часоў.

Тэарэтычную аснову для развіцця біятэхналогіі ў XX ст. забяспечылі генетыка, мікрабіялогія і біяхімія. Практычнай базай стала мікрабіялагічная прамысловасць, бурнае развіццё якой звязана з адкрыццём і пачаткам вытворчасці антыбіётыкаў. Метады і дасягненні біятэхналогіі выкарыстоўваюцца ў харчовай, хімічнай, фармацэўтычнай прамысловасці, медыцыне, энергетыцы, селекцыі, сельскай гаспадарцы, у галіне аховы навакольнага асяроддзя і інш.

Аб'ектамі біятэхналогіі з'яўляюцца вірусы, бактэрыі, пратысты, грыбы, расліны, жывёлы, а таксама ізаляваныя клеткі і арганоіды.

Асноўныя напрамкі біятэхналогіі:

- вытворчасць з дапамогай мікраарганізмаў і культывуемых клетак біялагічна актыўных злучэнняў і лекавых прэпаратаў (ферментаў, вітамінаў, гармонаў, антыбіётыкаў, імунаглабулінаў і інш.);
- вытворчасць харчовых прадуктаў і кармоў для жывёл;
- стварэнне новых карысных штамаў мікраарганізмаў, сартоў раслін і парод жывёл;

- распрацоўка і выкарыстанне біялагічных метадаў аховы раслін ад шкоднікаў і хвароб;
- стварэнне і выкарыстанне біятэхналагічных метадаў аховы навакольнага асяроддзя і г. д.

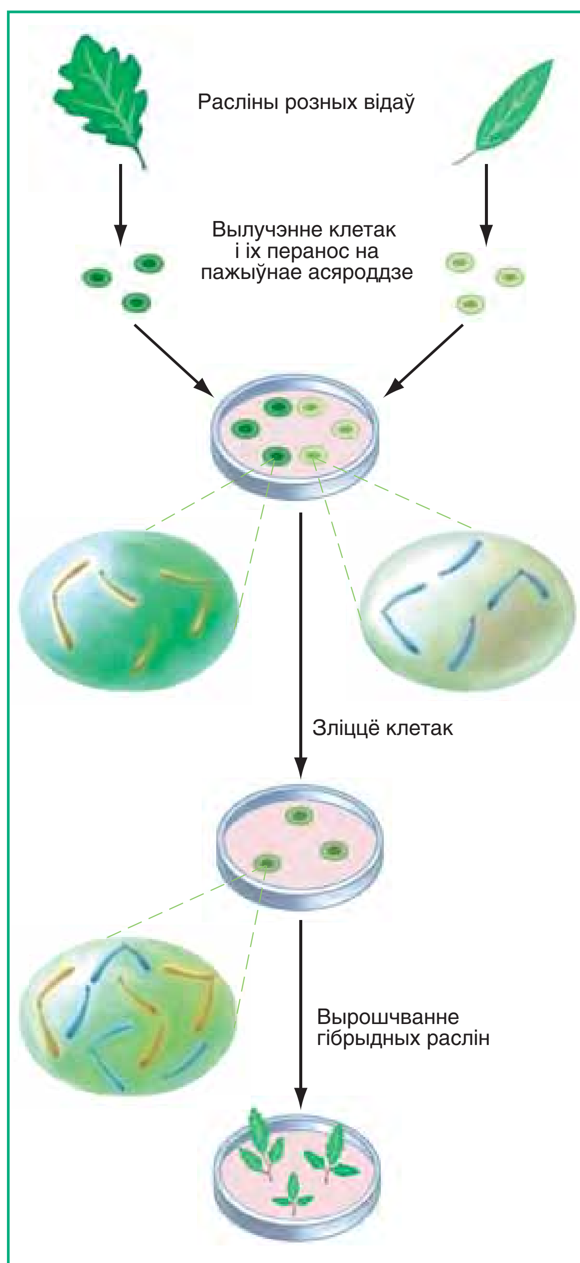
Асновай сучаснай біятэхналогіі з'яўляецца генетычная і клетачная інжынерыя ў спалучэнні з шырокім наборам метадаў біяхіміі.

Клетачная інжынерыя — гэта культываванне ў спецыяльных умовах клетак раслін, жывёл і мікраарганізмаў, а таксама розныя маніпуляцыі з імі (зліццё клетак, выдаленне або перасадка арганоідаў і г. д.).

Найбольш паспяхова развіваецца клетачная інжынерыя раслін. Выкарыстоўваючы метады генетыкі, вучоныя ствараюць лініі клетак, якія прадуцыруюць каштоўныя рэчывы. Такія клеткі здольны расці на простых пажыўных асяроддзях, сінтэзуючы пры гэтым вялікую колькасць неабходнага прадукту. Іх культываванне ўжо выкарыстоўваецца ў прамысловых маштабах для атрымання шэрагу біялагічна актыўных рэчываў. Напрыклад, наладжана вытворчасць біямасы *жэньшэню* для патрэб медыцынскай і парфумернай прамысловасці.

Другі важны напрамак клетачнай інжынерыі — размнажэнне раслін на аснове культуры тканак (мал. 121). Гэта стала магчымым дзякуючы здольнасці раслінных клетак фарміраваць цэлую расліну з адзінкавых клетак у выніку рэгенерацыі. Культуру раслінных тканак выгадна выкарыстоўваць для хуткага размнажэння раслін, якія растуць павольна, — *маслічнай пальмы*, *персіка* і інш. Так, пры звычайным развядзенні куст *маліны* можа даць не больш за 50 даччыных раслін у год, у той час як з дапамогай культуры тканак іх можна атрымаць больш за 50 000.

Мал. 121. Размнажэнне раслін на аснове культуры тканак



Мал. 122. Схема атрымання міжвідавых гібрыдаў раслін шляхам саматычнай гібрыдызацыі

Метады клетачнай інжынерыі дазваляюць значна паскорыць селекцыйны працэс пры вывядзенні новых сартоў збожжавых і другіх важных сельскагаспадарчых культур. Тэрмін іх атрымання скарачаецца да 3—4 гадоў замест 10—12, неабходных пры выкарыстанні звычайных метадаў селекцыі.

Перспектыўным спосабам вывядзення новых сартоў сельскагаспадарчых культур з'яўляецца прымяненне такога метаду клетачнай інжынерыі, як саматычная гібрыдызацыя.

Саматычная гібрыдызацыя — гэта зліццё розных тыпаў саматычных клетак аднаго арганізма або клетак арганізмаў, якія належаць да розных відаў (мал. 122). З дапамогай гэтага метаду, напрыклад, былі створаны гібрыды, якія немагчыма атрымаць шляхам скрыжавання асобін — гібрыды *тытуню* і *бульбы*, *морквы* і *пятрушкі*, *тамата* і *бульбы* і г. д. Саматычная гібрыдызацыя паміж культурнымі і дзікімі формамі *бульбы* дазволіла атрымаць сарты, устойлівыя да некаторых захворванняў і шкоднікаў.

Важны напрамак клетачнай інжынерыі звязаны з раннімі стадыямі эмбрыянальнага развіцця. Апладненне яйцаклетак у лабараторных умовах па-за арганізмам маці (так званае ЭКА —

экстракарпаральнае апладненне) дазваляе пераадольваць некаторыя формы бясплоднасці чалавека.

У сельскагаспадарчых жывёл з дапамогай ін'екцыі гармонаў удаецца атрымаць ад адной высокапрадукцыйнай самкі дзясяткі яйцаклетак, штучна апладніць іх спермай пародзістага самца і імплантаваць у маткі другіх самак. Так можна атрымаць ад аднаго каштоўнага экзэмпляра ў многа разоў больш патомства, чым гэта было б магчыма звычайным спосабам або з дапамогай штучнага асемянення.

Генетычная (генная) інжынерыя — гэта раздзел малекулярнай біялогіі, звязаны з выдзяленнем генаў з клетак жывых арганізмаў, ажыццяўленнем з імі розных маніпуляцый (у тым ліку — стварэннем гібрыдных малекул ДНК) і ўвядзеннем іх у другія арганізмы.

Галоўнымі інструментамі генетычнай інжынерыі з'яўляюцца ферменты і вектары. З дапамогай набору спецыяльных ферментаў можна разразаць у пэўных участках малекулы ДНК і РНК, выдзяляць з іх патрэбныя фрагменты, капіраваць і сшываць гэтыя фрагменты адзін з другім.

Для дастаўкі чужародных генаў у клеткі розных арганізмаў прымяняюцца в е к т а р ы — спецыяльныя малекулы ДНК, якія здольны самастойна рэпліцыравацца ў клетках і забяспечваць размнажэнне (кланіраванне) і работу (экспрэсію) штучна ўведзеных у іх генаў.

Для ажыццяўлення пераносу генаў аднаго віду арганізмаў у другі, часта вельмі далёкі па паходжанні, неабходна выканаць некалькі аперацый (мал. 123).

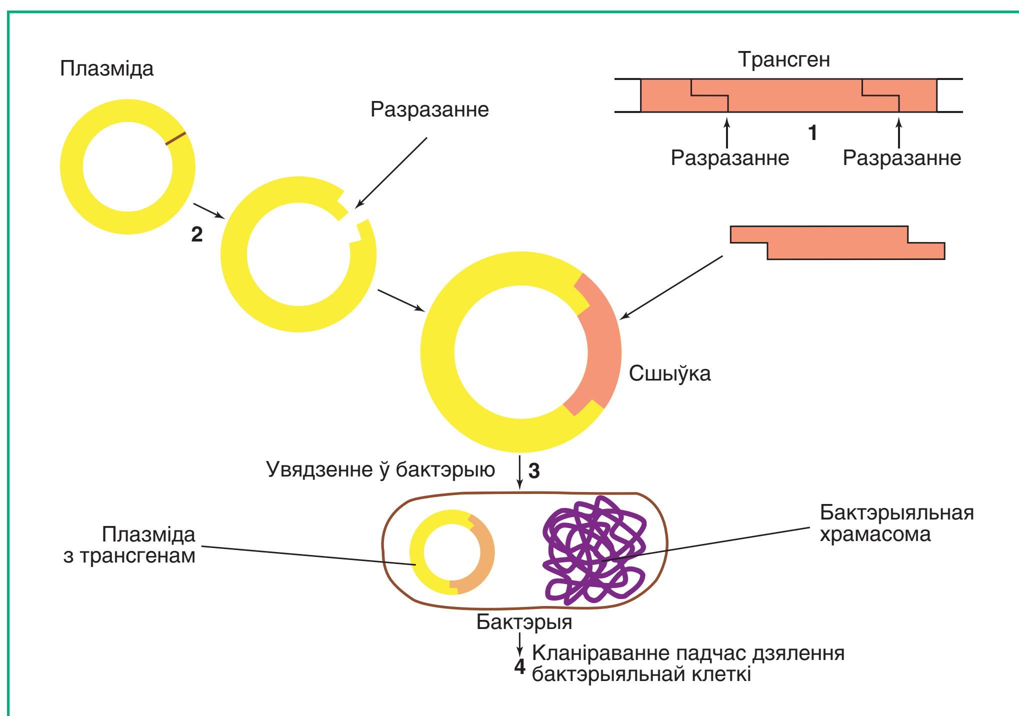
1. Выдзяленне генаў (асобных фрагментаў ДНК) з клетак-донараў. У асобных выпадках гэтую аперацыю замяняюць штучным сінтэзам патрэбных генаў.

2. Стварэнне вектарнай канструкцыі (увядзенне вылучанага з донара фрагмента ДНК у плазмідны вектар з дапамогай спецыяльных ферментаў). У геннай інжынерыі шырока выкарыстоўваюцца вектары, створаныя на аснове плазмід — пазахрамасомных кальцавых малекул ДНК, характэрных для пракарыёт.

3. Увядзенне атрыманай вектарнай канструкцыі ў клетку новага гаспадара (бактэрыю).

4. Кланіраванне фрагмента ДНК (павелічэнне копій вектара, які ўтрымлівае ўведзеную ДНК) падчас мнагакратных дзяленняў бактэрыяльнай клеткі.

Жывыя арганізмы, генóм якіх быў зменены шляхам генна-інжынерных аперацый і змяшчае хоць бы адзін актыўна функцыяніруючы ген другога арганізма, называюць т р а н с г е н н ы м і (генетычна мадыфікаванымі). Дзякуючы пераносу генаў у трансгенных арганізмаў узнікаюць новыя якасці. Напрыклад, самататрапін (гармон росту) з 1980 г. атрымліваюць з дапамогай трансгенных штамаў бактэрыі *кішачнай палачкі*. Гэта адзіны сродак лячэння карлікавасці ў дзяцей. Да развіцця геннай інжынерыі самататрапін выдзялялі з гіпофізаў памерлых людзей. Сёння 1 л суспензіі трансгенных бактэрый за некалькі гадзін выпрацоўвае такую колькасць гармону росту, якая змяшчаецца ў дзясятках гіпофізаў чалавека. Ген-



Мал. 123. Увядзенне вектарнай канструкцыі ў бактэрыяльную клетку

на-інжынерны самататрапін танней, даступней у вялікай колькасці і небяспечны ў плане заражэння вірусамі.

У 1979 г. у свеце налічвалася больш за 60 млн хворых цукровым дыябетам. З іх каля 4 млн атрымлівалі інсулін, які выдзяляўся з падстраўнікавых залоз *кароў* і *свіней*. З 1982 г. прадпрыемствы многіх краін пачалі выраблять генна-інжынерны інсулін. Ген чалавечага інсуліну быў уведзены ў бактэрыяльныя клеткі — пачаўся сінтэз гармона, які бактэрыі ніколі раней не выраблялі.

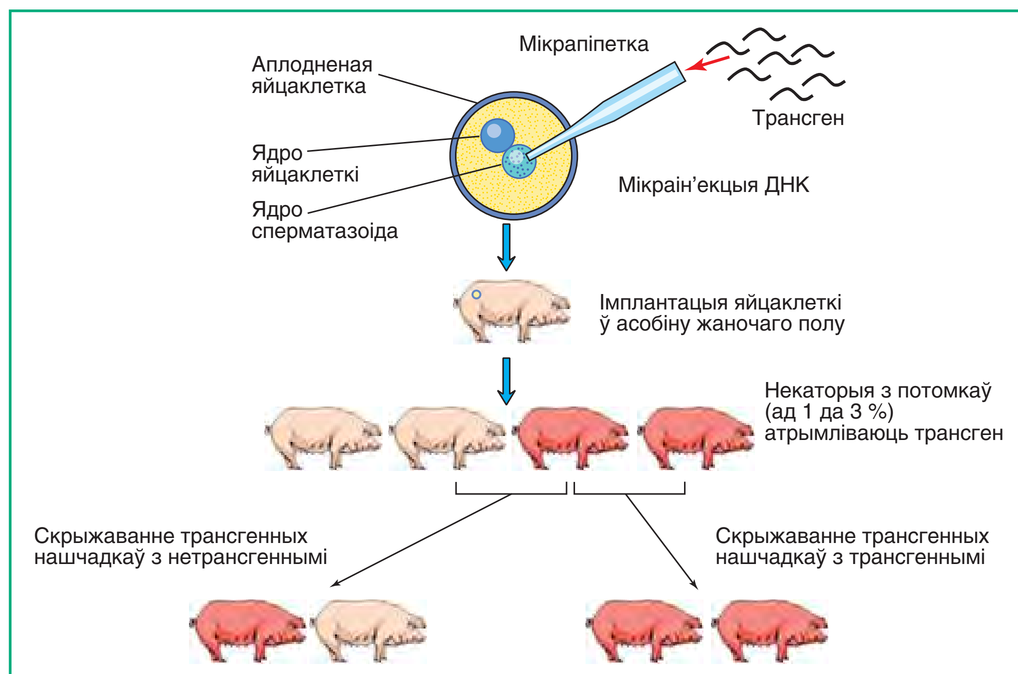
На сённяшні дзень метады геннай інжынерыі дазволілі ў прамысловых маштабах ажыццявіць сінтэз многіх біялагічна актыўных рэчываў — розных гармонаў, вітамінаў, інтэрферону і г. д.

Ужо атрыманы трансгенныя *мышы, трусы, свінні, козы*, у геноме якіх працуюць чужародныя гены рознага паходжання, у тым ліку гены *бактэрый, дрожджаў*, іншых *млекакормячых, чалавека*. Ёсць трансгенныя расліны, на базе якіх створаны сарты або формы сельскагаспадарчых культур, якія практычна немагчыма атрымаць традыцыйнымі метадамі селекцыі.

Атрыманне трансгенных жвёл. Адным з асноўных метадаў атрымання трансгенных жывёл з'яўляецца мікраін'екцыя ДНК у аплодненыя яйцаклеткі (мал. 124). Усё пачынаецца з увядзення фрагмента ДНК, які змяшчае некалькі копій патрэбнага гена, у ядро сперматазоіда, які аплядніў яйцаклетку. Пасля таго як адбудзецца зліццё ядраў, мадыфікаваныя зіготы пераносяць у матку самкі-рэцыпіента. Праз некаторы час яна нараджае на свет трансгенных дзіцянят.

Гэты метад з 1982 г. і да цяперашняга часу застаецца найбольш папулярным у даследчыкаў, занятых атрыманнем трансгенных жывёл, нягледзячы на тое, што ён патрабуе высокай кваліфікацыі і дарагога абсталявання.

У апошнія гады для стварэння трансгенных жывёл выкарыстоўваюць таксама эмбрыянальныя ствалавыя клеткі, атрыманыя з зародкаў на ранніх этапах развіцця. Гэтыя клеткі могуць дыферэнцыравацца ў любыя іншыя тыпы клетак мнагаклетачнага арганізма. Эмбрыянальныя ствалавыя клеткі можна культываваць па-за арганізмам на працягу доўгага часу і ўводзіць у іх пэўныя гены з дапамогай вектараў. Пасля гэтага клеткі з перасаджанымі чужароднымі генамі ўкараняюць у іншыя эмбрыёны для атрымання трансгенных жывёл.



Мал. 124. Атрыманне трансгенных жывёл метадам мікраін'екцыі ДНК

? **1.** Што такое біятэхналогія? У якіх сферах дзейнасці чалавека выкарыстоўваюцца біятэхналагічныя працэсы?

2. Якія асноўныя напрамкі біятэхналогіі?

3. Што ўяўляе сабой клетачная інжынерыя? Якія метады клетачнай інжынерыі вам вядомы? Якія вынікі атрыманы пры іх прымяненні?

4. Што такое генетычная інжынерыя? Назавіце асноўныя інструменты генетычнай інжынерыі.

5. Якія арганізмы называюцца трансгеннымі? Якія метады атрымання трансгенных жывёл вы можаце назваць?

6. У 1962 г. брытанскі вучоны Дж. Гёрдан правёў наступны эксперымент. З дапамогай ультрафіялетавага выпраменьвання ў аплодненай яйцаклетцы жабы было разбурана ядро. Затым у бязядзерную зіготу перасадзілі ядро, узятае з клеткі кішэчніка дарослай жабы. Такая незвычайная зігота пачала драбіцца і развілася ў нармальную жабу. Дж. Гёрдан і яго паслядоўнікі працягнулі даследаванні ў гэтай галіне. У 2012 г. Дж. Гёрдан стаў лаўрэатам Нобелеўскай прэміі. Якія вывады можна зрабіць з апісанага эксперыменту? Як вы думаеце, якое значэнне і працяг мелі эксперыменты Дж. Гёрдана?

§ 53. Поспехі і дасягненні генетычнай інжынерыі

Генадыягностыка і генная тэрапія. Метады геннай інжынерыі ўжо сёння паспяхова выкарыстоўваюцца для дыягностыкі і лячэння спадчынных захворванняў чалавека.

Генадыягностыка — гэта сукупнасць метадаў, якія дазваляюць выявіць і распазнаць генетычныя змяненні (дэфекты) у клетках, а таксама па спецыфічных генах выяўляць узбуджальнікаў хвароб на ранніх этапах захворвання.

Генную тэрапію можна вызначыць як лячэнне спадчынных захворванняў шляхам увядзення нармальных генаў у клеткі пацыентаў з мэтай накіраванага змянення генных дэфектаў або надання клеткам новых функцый.

Хуткаму развіццю геннай тэрапіі садзейнічалі вынікі, атрыманыя ў працэсе выканання міжнароднага праекта «Геном чалавека». Чакаецца, што ў бліжэйшым будучым даследчыкі канчаткова выявяць функцыі ўсіх генаў і будуць паспяхова выкарыстоўваць атрыманыя дадзеныя для лячэння і папярэджвання спадчынных хвароб.

Першым спадчынным захворваннем, у адносінах якога былі прыменены метады геннай тэрапіі, аказаўся прыроджаны імунадэфіцыт, абумоўлены мутацыяй у гене ферменту адэназіндэзаміназы. 14 верасня 1990 г. чатырохгадовай амерыканскай дзяўчынцы Ашанці Дэ-Сільва, якая пакутавала на гэтае захворванне, былі перасаджаны яе ўласныя Т-лімфацыты, папярэдне трансфармаваныя па-за арганізмам адпаведным генам пры дапамозе вектара. Пасля лячэння Ашанці ў 25—30 % яе Т-лімфацытаў узровень фермента адэназіндэзаміназы стаў нармальным і зараз яна абсалютна здаровая. У цяперашні час генная тэрапія гэтага захворвання праводзіцца ў ЗША, Італіі, Францыі, Вялікабрытаніі і Японіі.

Рашаючай умовай паспяховай генатэрапіі з'яўляецца эфектыўнасць дастаўкі чужароднага гена ў клеткі-мішэні, забеспячэнне яго працяглага функцыянавання ў гэтых клетках і стварэнне ўмоў для паўнацэннай работы гена (яго экспрэсіі). У якасці клетак-мішэняў часцей за ўсё выкарыстоўваюцца лімфацыты, клеткі чырвонага касцявога мозгу, пухлін, печані і інш.

У цяперашні час паспяхова ажыццяўляецца ўвядзенне вектарнай канструкцыі, якая нясе ген фактару згусання крыві, хворым гемафіліяй. Вынікі клінічных даследаванняў сведчаць, што такое «геннае лячэнне» папярэджвае ўзнікненне крывацёкаў і пацыенты больш года не маюць неабходнасці ў ін'екцыях фактару згусання.

З пункту гледжання геннай тэрапіі самымі простымі (у плане лячэння) з'яўляюцца спадчынныя хваробы, якія вызначаюцца адной парай алельных генаў, напрыклад серпападобнаклетачная анемія, гемафілія, фенілкетанурыя. Ужо ёсць дадзеныя аб распрацоўцы эксперыментальных падыходаў і аб выпрабаваннях метадаў геннай тэрапіі ў адносінах амаль трох дзясяткаў захворванняў такога роду.

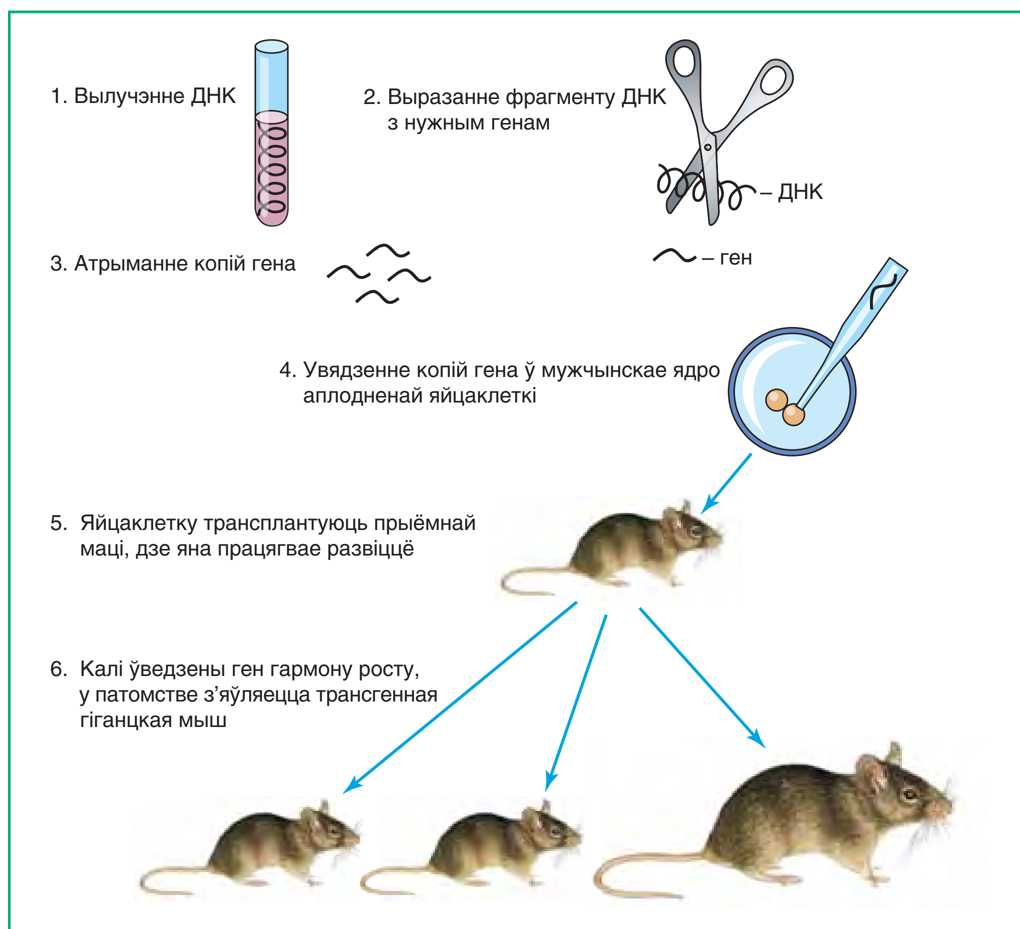
Больш складанымі з'яўляюцца даследаванні ў галіне хвароб, развіццё якіх абумоўлена комплексным узаемадзеяннем генаў з фактарамі навакольнага асяроддзя — цукровага дыябету, анкалагічных захворванняў і г. д. Аднак вынікі першых клінічных даследаванняў у адносінах да такіх захворванняў у вышэйшай ступені абнадзейваюць.

Поспехі і дасягненні генетычнай інжынерыі ў паляпшэнні гаспадарчых уласцівасцей жывёл і раслін. Адна з важнейшых задач геннай інжынерыі — вывядзенне трансгенных (генетычна мадыфікаваных) жывёл з павышанай прадукцыйнасцю, больш высокай якасцю прадукцыі і ўстойлівасцю да хвароб. Не менш важна стварэнне так званых жывёл-біярэактараў — вытворцаў каштоўных біялагічна актыўных рэчываў. Асаблівую цікавасць уяўляе ген, які кадзіруе гармон росту.

Першыя трансгенныя *мышы* з устроеным генам гармону росту *пацука* былі атрыманы ў 1982 г. У іх адзначалася павышэнне скорасці росту і хуткае павелічэнне масы цела (мал. 125).

Уражваюць вынікі, якія былі атрыманы на *еўрапейскім ласосе*. Асобіны ласося з устроеным генам гармону росту значна буйнейшыя за звычайных і ў 2 разы хутчэй дасягаюць таварнай масы (мал. 126).

Даволі часта для вытворчасці генна-інжынерных медыцынскіх прэпаратаў выкарыстоўваюць трансгенныя культуры клетак жывёл. На гэтай аснове, напрыклад, распрацавана вытворчасць чалавечага эрытрапаэтыну — гармону, які стымулюе ўтварэнне эрытрацытаў. Гэта дазволіла паспяхова праводзіць лячэнне хворых рознымі формамі анеміі (малакроўя).



Мал. 125. Атрыманне трансгенных мышэй з генам гармону росту пацука

Перспектывы стварэння трансгенных сельскагаспадарчых раслін звязаны з павышэннем іх устойлівасці да хвароб і неспрыяльных умоў асяроддзя, а таксама расшырэння кола культурных раслін, здольных да сімбіятычнай фіксацыі азоту і г. д. Для гэтага ў раслінныя клеткі ўводзяцца патрэбныя гены, атрыманыя не толькі ад іншых раслін, але і ад жывёл або мікраарганізмаў.

Сёння генная інжынерыя асвойвае новыя рубяжы. У цяперашні час ужо атрыманы трансгенныя формы *таматаў* (больш за 260), *соі* (больш за 200), *бавоўны* (больш за 150), *гарбузовых раслін* (больш за 80), а таксама *пшаніцы, сланечніка, яблыні, суніц* (мал. 127) і інш. Многія трансгенныя расліны

Мал. 126. Трансгенны ласось у параўнанні са звычайным

ўтрымліваюць гены ўстойлівасці да насякомых-шкоднікаў, таксічных рэчываў і г. д. Напрыклад, выведзены сорт *бульбы*, устойлівы да *каларадскага жука* (лісты выпрацоўваюць бялок, ядавіты для жукоў), расліны, здольныя ахоўваць сябе ад цяжкіх металаў, нафтапрадуктаў, радыенуклідаў і нават ачышчаць ад гэтых рэчываў глебу і грунтовыя воды.

У апошні час распрацоўваецца праект увядзення ў збожжавыя культуры генаў бактэрый, здольных засвойваць атмасферны азот. Гэта дазволіць пазбавіцца ад неабходнасці ўносіць у глебу азотныя ўгнаенні. Аднак устройваць неабходна цэлы комплекс з 17 бактэрыяльных генаў. Акрамя таго, трэба заставіць працаваць усе гэтыя гены ў чужародным для іх геноме (напрыклад, *пшаніцы*), што істотна ўскладняе задачу.

Адным з перспектыўных напрамкаў геннай інжынеры з'яўляецца стварэнне раслін-біярэактараў, здольных прадуцыраваць бялкі, неабходныя ў медыцыне, фармакалогіі і інш. Іх вартасцю з'яўляецца адносная прастата стварэння і размнажэння, высокая прадукцыйнасць. Акрамя таго, чужародныя бялкі не выклікаюць імунных рэакцый у раслін, чаго цяжка дабіцца ў жывёл.

Мал. 127. Плады трансгенных раслін садовых суніц

Генетычная інжынерыя і біябяспека. Адной з праблем, з якой сутыкнулася генетычная інжынерыя, з’яўляецца насцярожанасць, а часам і негатыўныя адносіны некаторай часткі насельніцтва да трансгенных (генетычна мадыфікаваных) арганізмаў і прадуктаў з іх. Гэтаму садзейнічалі публікацыі ў сродках масавай інфармацыі, у якіх сцвярджалася, што трансгенная прадукцыя шкодная для чалавека, а самі трансгенныя арганізмы нясуць пагрозу для экалагічных абставін і г. д.

Трэба падкрэсліць, што ўжо больш чым 20 гадоў у розных краінах (ЗША, Канадзе і інш.) выкарыстоўваецца значная колькасць генна-інжынерных прадуктаў. Аднак якіх-небудзь навукова даказаных непажаданых эфектаў ад іх прымянення ўстаноўлена не было. Яшчэ на стадыі стварэння генетычна мадыфікаваных арганізмаў (ГМА) ажыццяўляецца строгі кантроль за тым, каб уносімы ген не сінтэзаваў які-небудзь таксічны або алергенны кампанент. Пасля гэтага прадукты, якія выпрацоўваюцца трансгенным арганізмам, дэталёва даследуюцца ў лабараторыях.

Акрамя таго, пры выпуску на рынак генетычна мадыфікаваныя прадукты, так як і любых другія, атрыманыя хімічным або іншым спосабам (лекавыя прадукты, стымулятары росту раслін, цукразамяняльнікі, харчовыя фарбавальнікі, кансерванты, угнаенні і г. д.), правяраюцца спецыяльнымі службамі. Іх выпрабоўваюць на таксічнасць, алергеннасць, канцэрагеннасць і г. д. Таму трансгенная прадукцыя, якая прайшла падобныя выпрабаванні, з’яўляецца не больш небяспечнай, чым любая іншая. Што ж датычыцца магчымасці негатыўнага ўздзеяння на навакольнае асяроддзе, дык тут адназначнага адказу пакуль няма, і тэарэтычна такая праблема існуе.

Вынікі спецыяльных даследаванняў паказваюць, што экалагічную рызыку пры вырошчванні трансгенных раслін можна параўнаць з рызыкай выпрабавання звычайных новых селекцыйных сартоў. Усе злучэнні, якія з’яўляюцца ў трансгенных раслінах, як правіла, ужо існуюць у прыродзе. Напрыклад, ёсць пэўная рызыка пераносу генаў, якія вызначаюць устойлівасць да гербіцыдаў, у пустазелле ў выніку выпадковага скрыжавання з гербіцыдаўстойлівымі трансгеннымі раслінамі. Аднак ужо даўно вядома, што пры працяглым выкарыстанні гербіцыдаў такое пустазелле з’яўляецца і ў звычайных умовах.

Да таго ж магчымы абмен генаў паміж генетычна мадыфікаванымі раслінамі і роднаснымі ім культурнымі і дзікімі відамі, што ў далёкім будучым можа ўплываць на стабільнасць экасістэм, якія склаліся. Сёння з-за параўнальна кароткага тэрміну выкарыстання трансгенных раслін мы не можам абсалютна дакладна прадказаць аддаленыя вынікі іх уплыву на навакольнае асяроддзе. Таму, каб выключыць некантралюемае выкарыстанне генетычна змененых арганізмаў, міжнародныя арганізацыі і асобныя краіны распрацавалі шэраг заканадаўчых даку-

ментаў, накіраваных на папярэджванне магчымых неспрыяльных экалагічных наступстваў для навакольнага асяроддзя і здароўя чалавека ад выкарыстання генна-інжынерных тэхналогій.

У Беларусі, як і ў большасці развітых краін, праводзіцца работа па стварэнні нарматыўнай базы па біянебяспецы. У 2006 г. быў прыняты Закон Рэспублікі Беларусь «Аб небяспецы генна-інжынернай дзейнасці». У ім сфармуляваны асноўныя прынцыпы небяспекі ў рабоце з генетычна мадыфікаванымі арганізмамі і прадуктамі, створанымі на іх аснове. Вызначаны арганізацыйна-прававыя асновы дзяржаўнага рэгулявання, парадак дзяржаўнай экспертызы небяспекі генетычна мадыфікаваных арганізмаў, іх рэгістрацыі, паступлення ў навакольнае асяроддзе і іншыя пытанні.

Усе гэтыя меры будуць садзейнічаць мінімізацыі магчымых шкодных вынікаў ад выкарыстання генна-інжынерных тэхналогій, без якіх чалавецтва ў XXI ст. ужо ніяк не зможа абысціся.

?

1. Што ўяўляе сабой генадыягностыка? Генная тэрапія?

2. Прывядзіце прыклады паспяховага выкарыстання метадаў генетычнай інжынерыі ў жывёлагадоўлі і раслінаводстве.

3. Якія перспектывы адкрываюцца ў селекцыі ў сувязі з прымяненнем метадаў геннай і клетачнай інжынерыі?

4. Якія меры прымяняюцца для недапушчэння некантралюемага выкарыстання генетычна мадыфікаваных арганізмаў?

5. Прывядзіце довады «за» і «супраць» выкарыстання трансгенных арганізмаў. Як асабіста вы ставіцеся да дадзенай праблемы? Чаму?

Прыклады рашэння задач

§ 7

1. Участак аднаго з ланцугоў малекулы ДНК мае наступную паслядоўнасць нуклеатыдаў: А Г Г Т Ц А А Ц Т. Вызначыце нуклеатыдную паслядоўнасць участка другога ланцуга ДНК, камплементарнага дадзенаму.

Рашэнне. У малекуле ДНК адэнін камплементарны тыміну, а гуанін — цытазіну. Такім чынам, камплементарны ўчастак мае наступную паслядоўнасць нуклеатыдаў: Т Ц Ц А Г Т Т Г А.

Адказ. Нуклеатыдная паслядоўнасць камплементарнага ўчастка: Т Ц Ц А Г Т Т Г А.

2. Фрагмент малекулы ДНК (двайной спіралі) мае даўжыню 68 нм і змяшчае 120 адэнілавых нуклеатыдаў (А). Разлічыце працэнтнае ўтрыманне ўсіх тыпаў нуклеатыдаў, якія ўваходзяць у састаў дадзенага фрагмента ДНК.

Рашэнне. 1. Знойдзем агульную колькасць нуклеатыдаў у дадзеным фрагменце ДНК. Адзін віток двайной спіралі ДНК змяшчае 10 пар нуклеатыдаў і мае даўжыню 3,4 нм. Такім чынам, адна пара нуклеатыдаў займае ўчастак ДНК даўжынёй 0,34 нм. Значыць, дадзены фрагмент змяшчае $68 : 0{,}34 = 200$ пар нуклеатыдаў = 400 нуклеатыдаў.

2. Працэнтнае ўтрыманне адэнілавых нуклеатыдаў у гэтым фрагменце: $А = 120 : 400 \cdot 100\ \% = 30\ \%$. Адпаведна з правілам Чаргафа, у малекуле ДНК $А = Т$, $Г = Ц$. Значыць, $А = Т = 30\ \%$. На астатнія нуклеатыды (Г і Ц) прыходзіцца: $100\ \% - 30\ \% - 30\ \% = 40\ \%$. $Г = Ц = 40\ \% : 2 = 20\ \%$.

Адказ. $А = 30\ \%$, $Т = 30\ \%$, $Г = 20\ \%$, $Ц = 20\ \%$.

§ 23

1. Яйцаклетка кукурузы змяшчае 10 храмасом. Колькі даччыных клетак утвараецца пры дзяленні саматычнай клеткі кукурузы шляхам мітозу? Шляхам меёзу? Якую колькасць храмасом будуць змяшчаць даччыныя клеткі ў кожным выпадку?

Рашэнне. 1. Яйцаклеткі, як і палавыя клеткі, маюць гаплоідны (n) набор храмасом. Значыць, для кукурузы $n = 10$. Саматычная клетка кукурузы змяшчае дыплоідны набор храмасом: $2n = 20$.

2. У выніку мітозу з адной мацярынскай клеткі ўтвараюцца дзве даччыныя з такім сама наборам храмасом. Значыць, з адной саматычнай клеткі ўтвараюцца дзве і ў кожнай будзе змяшчацца па 20 храмасом. У выніку меёзу з адной мацярынскай клеткі ўтвараюцца чатыры даччыныя з паменшаным у 2 разы наборам храмасом. Значыць, з саматычнай клеткі ($2n$) утвараюцца чатыры даччыныя з гаплоідным (n) наборам — па 10 храмасом у кожнай.

Адказ. Пры дзяленні мітозам утвараюцца дзве даччыныя клеткі, якія змяшчаюць па 20 храмасом. Пры дзяленні меёзам утвараюцца чатыры даччыныя клеткі, па 10 храмасом у кожнай.

2. Карыятып воўка прадстаўлены 78 храмасомамі. Чаму будзе роўна колькасць храмасом (n) і храматыд (c):

а) у саматычнай клетцы воўка ў час G_2-перыяду інтэрфазы;

б) у сперматазоідзе;

в) каля кожнага полюса клеткі кішэчніка ў канцы анафазы мітозу;

г) у даччыных клетках, якія ўтварыліся пасля першага меятычнага дзялення?

Рашэнне. 1. Клеткі цела воўка змяшчаюць дыплоідны набор храмасом. Значыць, карыятып воўка: $2n = 78$.

2. Саматычныя клеткі ў G_2-перыядзе змяшчаюць набор $2n4c$, што для воўка складае 78 храмасом, 156 храматыд. Сперматазоіды ўтвараюцца ў выніку меёзу, значыць, іх набор $1n1c$ — 39 храмасом і храматыд (храматыды ўяўляюць сабой даччыныя храмасомы). Клетка кішэчніка саматычная, у канцы анафазы мітозу ў кожнага полюса знаходзіцца $2n2c$, г. зн. 78 храмасом і храматыд. Набор кожнай даччынай клеткі пасля меёзу I складае $1n2c$ або 39 храмасом, 78 храматыд.

Адказ. а) $n = 78$, $c = 156$; б) $n = 39$, $c = 39$; в) $n = 78$, $c = 78$; г) $n = 39$, $c = 78$.

§ 25

Колькі грамаў кіслароду неабходна для поўнага акіслення 360 г глюкозы? Якая максімальная колькасць АТФ (моль) пры гэтым можа сінтэзавацца ў арганізме?

Рашэнне. 1. Знойдзем колькасць глюкозы (моль), якая падпадае пад поўнае акісленне.

$M(C_6H_{12}O_6) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 12 + 16 \cdot 6 = 180$ г/моль.

$n(C_6H_{12}O_6) = m : M = 360$ г : 180 г/моль = 2 моль.

2. Сумарнае ўраўненне аэробнага дыхання:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 38\text{АДФ} + 38H_3PO_4 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38\text{АТФ}.$$

Для поўнага акіслення 1 моль глюкозы неабходна 6 моль кіслароду, пры гэтым можа сінтэзавацца 38 моль АТФ. Значыць, для поўнага акіслення 2 моль глюкозы спатрэбіцца 12 моль кіслароду, пры гэтым можа сінтэзавацца 76 моль АТФ.

3. Разлічым масу кіслароду.

$M(O_2) = 16 \cdot 2 = 32$ г/моль.

$m(O_2) = n \cdot M = 12$ моль $\cdot$ 32 г/моль = 384 г.

Адказ. Неабходна 384 г кіслароду, можа сінтэзавацца 76 моль АТФ.

§ 26

У арганізме чалавека пры мышачнай рабоце было расходавана 0,1 моль глюкозы, прычым поўнаму аэробнаму расшчапленню падпала 60 % глюкозы, астатняя частка была ўтылізавана ў працэсе браджэння. Якая максімальная колькасць АТФ (моль) магла пры гэтым сінтэзавацца?

Рашэнне. 1. Поўнаму акісленню падпала: 0,1 моль · 60 % : 100 % = = 0,06 моль глюкозы.

У ходзе браджэння выкарыстана: 0,1 моль – 0,06 моль = 0,04 моль глюкозы.

2. Сумарнае ўраўненне аэробнага дыхання:

$C_6H_{12}O_6$ + $6O_2$ + 38АДФ + $38H_3PO_4$ → $6CO_2$ + $6H_2O$ + 38АТФ.

Пры поўным акісленні 1 моль глюкозы можа сінтэзавацца 38 моль АТФ, значыць, пры поўным акісленні 0,06 моль глюкозы можа ўтварыцца: 38 · 0,06 = 2,28 моль АТФ.

3. У арганізме чалавека пры дэфіцыце кіслароду працякае малочнакіслае браджэнне:

$C_6H_{12}O_6$ + 2АДФ + $2H_3PO_4$ → $2C_3H_6O_3$ + 2АТФ.

Пры расшчапленні 1 моль глюкозы можа ўтварыцца 2 моль АТФ. Значыць, пры расшчапленні 0,04 моль глюкозы можа сінтэзавацца 0,08 моль АТФ.

4. Знойдзем агульную колькасць АТФ:

2,28 моль + 0,08 моль = 2,36 моль.

Адказ. У арганізме магло сінтэзавацца 2,36 моль АТФ.

§ 27

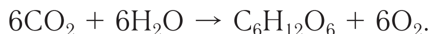
Колькі вуглякіслага газу (кг) было ўвабрана раслінамі ў працэсе фотасінтэзу, калі вядома, што імі было сінтэзавана 900 г глюкозы?

Рашэнне. 1. Знойдзем колькасць (моль) сінтэзаванай глюкозы.

$M(C_6H_{12}O_6) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 12 + 16 \cdot 6 = 180$ г/моль.

$n(C_6H_{12}O_6) = m : M = 900$ г : 180 г/моль = 5 моль.

2. Агульнае ўраўненне фотасінтэзу:



$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$.

Для сінтэзу 1 моль глюкозы неабходна 6 моль CO_2. Значыць, для ўтварэння 5 моль глюкозы трэба 5 · 6 = 30 моль CO_2.

3. Вызначыце масу паглынутага CO_2.

$M(CO_2) = 12 + 16 \cdot 2 = 44$ г/моль.

$m(CO_2) = n \cdot M = 30$ моль · 44 г/моль = 1320 г = 1,32 кг.

Адказ. Расліны паглынулі 1,32 кг вуглякіслага газу.

§ 28

Малекула бялку складаецца з 180 астаткаў амінакіслот. Якую даўжыню (нм) мае ген, які кадзіруе дадзены бялок? Стартавы кадон і стоп-кадон пры разліках не ўлічвайце.

Р а ш э н н е. 1. Вызначым колькасць нуклеатыдаў у адпаведнай іРНК. Кожная амінакіслата кадзіруецца трыплетам — спалучэннем з трох нуклеатыдаў. Значыць, іРНК утрымлівае 180 трыплетаў або $180 \cdot 3 = 540$ нуклеатыдаў. Ва ўмове задачы сказана, што стартавы кадон і стоп-кадон улічваць не трэба, таму мы **не** прыбаўляем яшчэ 2 трыплеты (6 нуклеатыдаў).

2. Паколькі іРНК змяшчае 540 нуклеатыдаў, адпаведны ген (участак малекулы ДНК) змяшчае 540 пар нуклеатыдаў. Віток двайной спіралі ДНК змяшчае 10 пар нуклеатыдаў і мае даўжыню 3,4 нм, г. зн. адна пара нуклеатыдаў займае ўчастак ДНК даўжынёй 0,34 нм. Такім чынам, участак малекулы ДНК, які ўтрымлівае 540 пар нуклеатыдаў, мае даўжыню: $540 \cdot 0{,}34$ нм $= 183{,}6$ нм.

А д к а з. Ген мае даўжыню 183,6 нм.

§ 29

Устанавіце паслядоўнасць антыкадонаў тРНК, якія ўдзельнічаюць у сінтэзе пептыду, калі адпаведны нетранскрыбіруемы ланцуг малекулы ДНК змяшчае паслядоўнасць нуклеатыдаў: ЦАТЦЦТАТГЦТЦТАГ. З дапамогай табліцы генетычнага кода вызначыце паслядоўнасць амінакіслотных астаткаў дадзенага пептыду.

Р а ш э н н е. 1. Па прынцыпе камплементарнасці ўстановім паслядоўнасць нуклеатыдаў транскрыбіруемага ланцуга ДНК і адпаведнай іРНК (улічваючы, што ў малекуле РНК замест тыміну змяшчаецца ўрацыл). Затым з дапамогай табліцы генетычнага кода ўстановім структуру закадзіраванага пептыду:

Нетранскрыбіруемы ланцуг ДНК	ЦАТ	ЦЦТ	АТГ	ЦТЦ	ТАГ
Транскрыбіруемы ланцуг ДНК	ГТА	ГГА	ТАЦ	ГАГ	АТЦ
іРНК	ЦАУ	ЦЦУ	АУГ	ЦУЦ	УАГ
Пептыд	Гіс —	Про —	Мет —	Лей	стоп

2. Запішам антыкадоны адпаведных тРНК. Пры гэтым памятаем, што тРНК да стоп-кадонаў запісваць не трэба.

Антыкадоны тРНК	ГУА	ГГА	УАЦ	ГАГ	—

А д к а з. Паслядоўнасць антыкадонаў тРНК: ГУА, ГГА, УАЦ, ГАГ. Паслядоўнасць амінакіслотных астаткаў пептыду: Гіс — Про — Мет — Лей.

§ 41

У чалавека ўменне лепш валодаць правай рукой (праварукасць) цалкам дамінуе над леварукасцю. Жанчына-праўша, бацька якой быў леварукім, выйшла замуж за мужчыну-ляўшу. Якая верагоднасць нараджэння ў гэтай сям'і дзіцяці-ляўшы?

Р а ш э н н е. 1. Увядзём абазначэнні генаў:

A — праварукасць (праўша).

a — леварукасць (ляўша).

2. Вызначым генатыпы бацькоў. Жанчына — праўша, значыць, яна можа мець генатып *AA* або *Aa*. Ва ўмове таксама сказана, што яе бацька быў ляўшой (генатып — *aa*), значыць, дачка ўнаследавала ад яго ген *a*. Значыць, генатып жанчыны — *Aa*. Генатып яе мужа — *aa*, паколькі па ўмове задачы ён ляўша. Скрыжаванне можна запісаць любым спосабам (на выбар):

Генная форма запісу

P:	♀ *Aa*	×	♂ *aa*
G:	*A*, *a*		*a*
F_1:	*Aa* праўша 50 %		*aa* ляўша 50 %

Храмасомная форма запісу

P:	♀ $\frac{A}{a}$	×	♂ $\frac{a}{a}$
G:	$\underline{A}$, $\underline{a}$		$\underline{a}$
F_1:	$\frac{A}{a}$ праўша 50 %		$\frac{a}{a}$ ляўша 50 %

3. Такім чынам, расшчапленне па фенатыпе (і па генатыпе) у патомстве склала 1 : 1. Верагоднасць нараджэння дзіцяці-праўшы — 50 %, ляўшы — таксама 50 %.

А д к а з. Верагоднасць нараджэння дзіцяці-ляўшы — 50 %.

§ 42

1. Усе патомкі, атрыманыя ад скрыжавання раслін ільвінага зева з шырокімі і вузкімі лістамі, маюць сярэднія па шырыні лісты. У выніку скрыжавання раслін, якія маюць сярэднія лісты, атрымана 80 раслін ільвінага зева. Колькі з іх маюць вузкія лісты, калі расшчапленне адпавядае тэарэтычна чакаемаму? Як наследуецца шырыня лістоў у ільвінага зева?

Р е ш е н и е. 1. Гены, якія вызначаюць шырыню лістоў ільвінага зева, узаемадзейнічаюць па тыпе няпоўнага дамінавання, паколькі ў гібрыдаў праяўляецца прамежкавая прымета — сярэднія лісты. Значыць, расліны з сярэднімі лістамі — гетэразіготы.

2. З умовы задачы не відаць, якая прымета з'яўляецца дамінантнай (шырокія лісты ці вузкія), а якая — рэцэсіўнай. Пры няпоўным дамінаванні гэта няважна, паняцці «дамінантны» і «рэцэсіўны» ў дадзеным выпадку выкарыстоўваюцца толькі дзеля зручнасці (у адрозненне ад поўнага дамінавання). Дапусцім, дамінантны ген вызначае шырокія лісты, а рэцэсіўны — вузкія (можна абазначыць гены «наадварот», адказ задачы ад гэтага не зменіцца). Увядзём абазначэнні генаў, назавём генатып гетэразіготных раслін:

A — шырокія лісты;
a — вузкія лісты;
Aa — сярэднія лісты.

3. Запішам ход скрыжавання раслін з сярэднімі лістамі:

Генная форма запісу

P: ♀ *Aa* × ♂ *Aa*

G: (*A*), (*a*)   (*A*), (*a*)

F_1:	*AA*	*Aa*	*Aa*	*aa*
	шырокія 25 %	сярэднія 50 %		вузкія 25 %

Храмасомная форма запісу

P: ♀ $\frac{A}{a}$ × ♂ $\frac{A}{a}$

G: ($\underline{A}$), ($\underline{a}$)   ($\underline{A}$), ($\underline{a}$)

F_1:	$\frac{A}{A}$	$\frac{A}{a}$	$\frac{A}{a}$	$\frac{a}{a}$
	шырокія 25 %	сярэднія 50 %		вузкія 25 %

4. У патомстве назіраецца расшчапленне 1 : 2 : 1. Агульная колькасць патомкаў — 80, пры гэтым вузкія лісты наследуюць 25 %. Значыць, колькасць раслін з вузкімі лістамі: 80 · 25 % : 100 % = 20.

Адказ. Шырыня лістоў у ільвінага зева наследуецца па тыпе няпоўнага дамінавання. Вузкія лісты маюць 20 раслін.

2. Якія групы крыві могуць быць у дзяцей, калі іх маці мае чацвёртую групу крыві, а бацька — першую?

Рашэнне. 1. Групы крыві па сістэме AB0 кантралююцца трыма генамі, два з якіх узаемадзейнічаюць па тыпе кадамініравання, што прыводзіць да з'яўлення IV групы крыві. Увядзём абазначэнні, пакажам адпаведныя прыметы (не забываючы пра IV групу крыві):

I^0 — I група крыві;
I^A — II група крыві;
I^B — III група крыві;
I^AI^B — IV група крыві.

2. Генатып чалавека з IV групай крыві — толькі I^AI^B, з першай — толькі I^0I^0, іншыя варыянты выключаны. Запішам ход скрыжавання:

Генная форма запісу

P:	♀ I^AI^B	×	♂ I^0I^0
G:	I^A, I^B		I^0
F_1:	I^AI^0 II група 50 %		I^BI^0 III група 50 %

Храмасомная форма запісу

P:	♀ $\frac{I^A}{I^B}$	×	♂ $\frac{I^0}{I^0}$
G:	$\underline{I^A}$, $\underline{I^B}$		$\underline{I^0}$
F_1:	$\frac{I^A}{I^0}$ II група 50 %		$\frac{I^B}{I^0}$ III група 50 %

3. Расшчапленне ў патомстве 1 : 1, 50 % дзяцей — з другой групай крыві, 50 % — з трэцяй.

Адказ. Верагоднасць нараджэння дзіцяці з другой групай крыві — 50 %, з трэцяй — 50 %.

§ 43

У чалавека рэзус-дадатнасць цалкам дамінуе над рэзус-адмоўнасцю. У сям'і, дзе абое бацькі — рэзус-дадатныя, у маці I група крыві, а ў бацькі — III, нарадзілася рэзус-адмоўнае дзіця з I групай. Якая верагоднасць нараджэння ў гэтых бацькоў рэзус-дадатнага дзіцяці з III групай крыві?

Рашэнне. 1. Увядзём абазначэнні генаў:

I^0 — I група крыві;
I^A — II група крыві;
I^B — III група крыві;
I^AI^B — IV група крыві;
D — рэзус-дадатнасць (Rh^+);
d — рэзус-адмоўнасць (Rh^-).

2. Вызначым генатыпы бацькоў. Па ўмове задачы ў рэзус-дадатнай маці I група крыві, што дазваляе запісаць частку яе генатыпу (фенатыпічны радыкал) наступным чынам: I^0I^0D- (або $\frac{I^0}{I^0}\frac{D}{}$). У рэзус-дадатнага бацькі III група крыві — запішам частку яго генатыпу ў выглядзе: I^B-D- (або $\frac{I^B}{}\frac{D}{}$). Ва ўмове сказана, што ў гэтых бацькоў ёсць рэзус-адмоўнае дзіця з I групай крыві — яго генатып I^0I^0dd (або $\frac{I^0}{I^0}\frac{d}{d}$). У дзіцяці ў кожнай алельнай пары адзін з генаў атрыманы ад маці, другі — ад бацькі. Значыць, у абоіх бацькоў у генатыпе ёсць

ген I^0 і ген d. Дапоўнім генатыпы бацькоў адпаведнымі генамі і запішам скрыжаванне:

Генная форма запісу

P: ♀ I^0I^0Dd × ♂ I^BI^0Dd

G: (I^0D), (I^0d) (I^BD), (I^Bd), (I^0D), (I^0d)

Храмасомная форма запісу

P: ♀ $\frac{I^0}{I^0}\frac{D}{d}$ × ♂ $\frac{I^B}{I^0}\frac{D}{d}$

G: ($\underline{I^0}\,\underline{D}$), ($\underline{I^0}\,\underline{d}$) ($\underline{I^B}\,\underline{D}$), ($\underline{I^B}\,\underline{d}$), ($\underline{I^0}\,\underline{D}$), ($\underline{I^0}\,\underline{d}$)

3. Пабудуем рашотку Пенета, у ячэйках якой пакажам генатыпы і фенатыпы дзяцей (F_1):

	(I^BD)	(I^Bd)	(I^0D)	(I^0d)
(I^0D)	I^BI^0DD III Rh⁺	I^BI^0Dd III Rh⁺	I^0I^0DD I Rh⁺	I^0I^0Dd I Rh⁺
(I^0d)	I^BI^0Dd III Rh⁺	I^BI^0dd III Rh⁻	I^0I^0Dd I Rh⁺	I^0I^0dd I Rh⁻

	($\underline{I^B}\,\underline{D}$)	($\underline{I^B}\,\underline{d}$)	($\underline{I^0}\,\underline{D}$)	($\underline{I^0}\,\underline{d}$)
($\underline{I^0}\,\underline{D}$)	$\frac{I^B}{I^0}\frac{D}{D}$ III Rh⁺	$\frac{I^B}{I^0}\frac{D}{d}$ III Rh⁺	$\frac{I^0}{I^0}\frac{D}{D}$ I Rh⁺	$\frac{I^0}{I^0}\frac{D}{d}$ I Rh⁺
($\underline{I^0}\,\underline{d}$)	$\frac{I^B}{I^0}\frac{D}{d}$ III Rh⁺	$\frac{I^B}{I^0}\frac{d}{d}$ III Rh⁻	$\frac{I^0}{I^0}\frac{D}{d}$ I Rh⁺	$\frac{I^0}{I^0}\frac{d}{d}$ I Rh⁻

4. Разлічым верагоднасць нараджэння рэзус-дадатнага дзіцяці з III групай крыві: $\frac{3}{8} \cdot 100\,\% = 37{,}5\,\%$.

Адказ. Верагоднасць нараджэння рэзус-дадатнага дзіцяці з III групай крыві — 37,5 %.

§ 44

У дразафілы шэрая афарбоўка цела дамінуе над чорнай, а чырвоныя вочы — над пурпуровымі. Гены, якія кантралююць афарбоўку цела і колер вачэй, знаходзяцца ў другой пары храмасом на адлегласці 6 марганід адна ад другой. Самку, гетэразіготную па абедзвюх прыметах (пры гэтым шэрую афарбоўку цела яна ўнаследавала ад аднаго з бацькоў, а чырвоны колер вачэй — ад другога), скрыжавалі з чорным самцом, які мае пурпуровыя вочы. Якая верагоднасць з'яўлення ў патомстве: а) шэрых асобін з чырвонымі вачамі; б) чорных асобін з чырвонымі вачамі?

Рашэнне. 1. Увядзём абазначэнні генаў, вызначым адлегласць паміж імі:
A — шэрае цела;
a — чорнае цела;
B — чырвоныя вочы;

b — пурпуровыя вочы;

rf_{AB} = 6 % (6 марганід).

2. Гены, якія вызначаюць афарбоўку цела і колер вачэй, счэплены. Дыгетэразіготная самка ўнаследавала шэрую афарбоўку цела (A) і чырвоныя вочы (B) ад розных бацькоў, таму яе генатып трэба запісаць так: $Ab//aB$ (або $\frac{Ab}{aB}$). Чорны самец з пурпуровымі вачамі мае генатып $ab//ab$ (або $\frac{ab}{ab}$). Запішам скрыжаванне, улічваючы, што ў дыгетэразіготнай самкі ўтвараецца два тыпы некрасоверных гамет у роўных суадносінах і два тыпы красоверных гамет таксама ў роўных суадносінах. Для зручнасці выдзелім красоверныя гаметы і асобіны зорачкамі (*):

Генная форма запісу

P:	♀ $Ab//aB$	×		♂ $ab//ab$
G:	(Ab), (aB), (AB*), (ab*)			(ab)
F_1:	$Ab//ab$	$aB//ab$	$AB//ab$*	$ab//ab$*
	шэрае цела пурпур. вочы 47 %	чорнае цела чырв. вочы 47 %	шэрае цела чырв. вочы 3 %	чорнае цела пурпур. вочы 3 %

Храмасомная форма запісу

P:	♀ $\frac{Ab}{aB}$	×		♂ $\frac{ab}{ab}$
G:	(Ab), (aB), (AB*), (ab*)			(ab)
F_1:	$\frac{Ab}{ab}$	$\frac{aB}{ab}$	$\frac{AB^*}{ab}$	$\frac{ab^*}{ab}$
	шэрае цела пурпур. вочы 47 %	чорнае цела чырв. вочы 47 %	шэрае цела пурпур. вочы 3 %	чорнае цела пурпур. вочы 3 %

3. Разлічым працэнтныя суадносіны асобін у F_1. Адлегласць паміж генамі — 6 марганід, значыць, красінговер паміж імі працякае з верагоднасцю 6 %. Такім чынам, агульная колькасць красоверных асобін складзе 6 % (а асобін кожнага фенатыпічнага класа — па 3 %). Агульная колькасць некрасоверных асобін роўна: 100 % – 6 % = 94 % (г. зн. кожны фенатыпічны клас — па 47 %).

Адказ. а) Шэрых асобін з чырвонымі вачамі — 3 %; б) чорных асобін з чырвонымі вачамі— 47 %.

§ 45

1. Дальтанізм абумоўлены рэцэсіўным генам, лакалізаваным у X-храмасоме. У адной сям'і маці хварэе на дальтанізм, а бацька нармальна адрознівае колеры. Якая верагоднасць нараджэння ў гэтай сям'і: а) дзіцяці, якое нармальна адрознівае колеры; б) дальтоніка сярод сыноў?

Р а ш э н н е. 1. Увядзём абазначэнне генаў:

A — нармальнае ўспрыманне колеру (норма);

a — дальтанізм.

2. Генатып маці, якая хварэе на дальтанізм, X^aX^a (у храмасомнай форме запісу $\frac{a}{a}$). Генатып здаровага бацькі — $X^AY\left(\frac{A}{\rightharpoonup}\right)$. Запішам ход скрыжавання:

Генная форма запісу

P:	♀ X^aX^a	×	♂ X^AY
G:	X^a		X^A, Y
F_1:	X^AX^a здаровая дачка (носьбітка) 50 %		X^aY сын дальтонік 50 %

Храмасомная форма запісу

P:	♀ $\frac{a}{a}$	×	♂ $\frac{A}{\rightharpoonup}$
G:	$\underline{a}$		$\underline{A}$, $\rightharpoonup$
F_1:	$\frac{A}{a}$ здаровая дачка (носьбітка) 50 %		$\frac{a}{\rightharpoonup}$ сын дальтонік 50 %

3. Верагоднасць нараджэння дзіцяці з нармальным адчуваннем колеру — 50 %, прычым гэта толькі дзяўчынкі, і ўсе яны будуць носьбіткамі гена дальтанізму. Усе сыны ў гэтай сям'і — дальтонікі, таму верагоднасць нараджэння дальтоніка сярод сыноў — 100 %.

А д к а з. а) Верагоднасць нараджэння дзіцяці, якое нармальна адрознівае колеры, — 50 %; б) верагоднасць нараджэння дальтоніка сярод сыноў — 100 %.

2. У канарэек даўжыня дзюбы — аўтасомная прымета, прычым кароткая дзюба дамінуе над доўгай. Зялёная афарбоўка пер'я дамінуе над карычневай, колер апярэння кантралюецца генамі, лакалізаванымі ў Z-храмасоме. Дыгетэразіготнага самца скрыжавалі з зялёнай самкай, у якой доўгая дзюба. Якая верагоднасць з'яўлення ў патомстве: а) зялёных асобін з кароткай дзюбай; б) карычневых самак з доўгай дзюбай; в) зялёных самцоў з доўгай дзюбай?

Р а ш э н н е. 1. Увядзём абазначэнні генаў:

A — кароткая дзюба;

a — доўгая дзюба;

B — зялёная афарбоўка;

b — карычневая афарбоўка.

2. У птушак гетэрагаметным полам з'яўляюцца самкі, таму генатып зялёнай самкі, якая мае доўгую дзюбу, трэба запісаць як $aaZ^BW\left(\frac{a}{a}\frac{B}{\rightharpoonup}\right)$. Самец дыгетэразіготны — яго генатыт $AaZ^BZ^b\left(\frac{A}{a}\frac{B}{b}\right)$. Запішам скрыжаванне:

Генная форма запісу

P: ♀ aaZ^BW × ♂ AaZ^BZ^b

G: (aZ^B), (aW) (AZ^B), (AZ^b), (aZ^B), (aZ^b)

Храмасомная форма запісу

P: ♀ $\frac{a}{a}\,\frac{B}{\rightharpoondown}$ × ♂ $\frac{A}{a}\,\frac{B}{b}$

G: $(\underline{a}\,\underline{B})$, $(\underline{a}\rightharpoondown)$ $(\underline{A}\,\underline{B})$, $(\underline{A}\,\underline{b})$, $(\underline{a}\,\underline{B})$, $(\underline{a}\,\underline{b})$

3. Пабудуем рашотку Пенета, у ячэйках якой пакажам генатыпы і фенатыпы патомства (F_1):

Генная форма запісу

	(AZ^B)	(AZ^b)	(aZ^B)	(aZ^b)
(aZ^B)	AaZ^BZ^B кароткі зялёны ♂	AaZ^BZ^b кароткі зялёны ♂	aaZ^BZ^B доўгі зялёны ♂	aaZ^BZ^b доўгі зялёны ♂
(aW)	AaZ^BW кароткі зялёная ♀	AaZ^bW кароткі карычневая ♀	aaZ^BW доўгі зялёная ♀	aaZ^bW доўгі карычневая ♀

Храмасомная форма запісу

	$(\underline{A}\,\underline{B})$	$(\underline{A}\,\underline{b})$	$(\underline{a}\,\underline{B})$	$(\underline{a}\,\underline{b})$
$(\underline{a}\,\underline{B})$	$\frac{A}{a}\,\frac{B}{B}$ кароткі зялёны ♂	$\frac{A}{a}\,\frac{B}{b}$ кароткі зялёны ♂	$\frac{a}{a}\,\frac{B}{B}$ доўгі зялёны ♂	$\frac{a}{a}\,\frac{B}{b}$ доўгі зялёны ♂
$(\underline{a}\rightharpoondown)$	$\frac{A}{a}\,\frac{B}{\rightharpoondown}$ кароткі зялёная ♀	$\frac{A}{a}\,\frac{b}{\rightharpoondown}$ кароткі карычневая ♀	$\frac{a}{a}\,\frac{B}{\rightharpoondown}$ доўгі зялёная ♀	$\frac{a}{a}\,\frac{b}{\rightharpoondown}$ доўгі карычневая ♀

4. Верагоднасць з'яўлення зялёных асобін з кароткай дзюбай (у дадзеным выпадку пол асобін не важны): $\frac{3}{8}\cdot 100\ \% = 37{,}5\ \%$; карычневых самак з доўгай дзюбай: $\frac{1}{8}\cdot 100\ \% = 12{,}5\ \%$. Верагоднасць з'яўлення зялёных асобін з доўгай дзюбай сярод самцоў складае $\frac{2}{4}\cdot 100\ \% = \frac{1}{2}\cdot 100\ \% = 50\ \%$.

Адказ. а) 37,5 %; б) 12,5 %; в) 50 %.

Слоўнік асноўных тэрмінаў і паняццяў

Аагенез — працэс утварэння жаночых палавых клетак.

Аблегчаная дыфузія — перамяшчэнне рэчываў праз біялагічныя мембраны паводле градыенту канцэнтрацыі пры дапамозе спецыфічных бялкоў-пераносчыкаў.

Абмен рэчываў (метабалізм) — сукупнасць працэсаў хімічнага ператварэння рэчываў у жывых арганізмах ад моманту іх паступлення ў арганізм да выдзялення канчатковых прадуктаў. Уключае рэакцыі сінтэзу (асіміляцыя) і расшчапленне рэчываў (дысіміляцыя).

Аддаленая гібрыдызацыя — скрыжаванне арганізмаў, якія належаць да розных відаў.

Акрасома — арганоід, размешчаны на пярэднім канцы галоўкі сперматазоіда. Утрымлівае ферменты, якія раствараюць абалонкі яйцаклеткі пры апладненні.

Акселерацыя — паскарэнне тэмпаў фізічнага (у тым ліку і палавога) развіцця дзяцей.

Алаплаідыя — кратнае павелічэнне набору храмасом у міжвідавых і міжродавых гібрыдаў, што дазваляе пераадолець бясплоднасць такіх гібрыдаў.

Алельныя гены (алелі) — гены, якія кантралююць альтэрнатыўныя формы праяўлення адной і той жа прыметы; размяшчаюцца ў аднолькавых локусах гамалагічных храмасом.

Алергія — неадэкватны па сіле імунны адказ, выкліканы павышанай адчувальнасцю арганізма да пэўнага рэчыва (алергена).

Алігацукрыды — вугляводы, малекулы якіх складаюцца з 2—10 астаткаў монацукрыдаў. Найбольш распаўсюджаны дыцукрыды, якія складаюцца з двух астаткаў монацукрыдаў (напрыклад, цукроза, мальтоза, лактоза).

Алкалоіды — біялагічна актыўныя азотзмяшчальныя арганічныя рэчывы прыроднага (пераважна расліннага) паходжання. Ахоўваюць расліны ад паядання жывёламі. Многія алкалоіды — моцныя яды, некаторыя выкарыстоўваюцца ў медыцыне.

Альтэрнатыўныя прыметы — прыметы, якія звычайна не могуць прысутнічаць у арганізме адначасова. Напрыклад, дадатны і адмоўны рэзус-фактар, гладкая і маршчыністая паверхня насення.

Амінакіслоты — нізкамалекулярныя арганічныя злучэнні, у састаў малекул якіх уваходзяць амінагрупа ($—NH_2$) і карбаксільная група ($—COOH$). Амінакіслоты — манамеры бялкоў. Вядома каля 200 амінакіслот, але ў састаў бялкоў уваходзяць толькі 20 — іх называюць бялокутваральнымі.

Амітоз — прамое дзяленне клеткі без утварэння верацяна дзялення. Пры амітозе генетычны матэрыял размяркоўваецца паміж даччынымі клеткамі нераўнамерна, выпадкова, часта адбываецца толькі дзяленне ядра без дзялення клеткі на дзве даччыныя.

Анабалізм — гл. Пластычны абмен.

Аналізуючае скрыжаванне — скрыжаванне асобіны, якая мае дамінантны фенатып (аналізуемая асобіна), з гомазіготнай рэцэсіўнай асобінай. Па фенатыпах атрыманага патомства можна вызначыць генатып аналізуемай асобіны.

Анаэробы — арганізмы, здольныя пражываць у бескіслародным асяроддзі (многія бактэрыі, некаторыя пратысты і грыбы, паразітычныя чарвякі і інш.).

Анеўплаідыя — гл. Гетэраплаідыя.

Антагенез — індывідуальнае развіццё арганізма. У мнагаклетачных арганізмаў пачынаецца з моманту ўтварэння зіготы (пры палавым размнажэнні) або ад моманту аддзялення ад мацярынскай асобіны (пры бясполым размнажэнні) і працягваецца да канца жыцця. У аднаклетачных пачынаецца з моманту ўтварэння арганізма ў працэсе дзялення мацярынскай асобіны і заканчваецца дзяленнем або смерцю.

Антыбіётыкі — біялагічна актыўныя рэчывы прыроднага або сінтэтычнага паходжання, здольныя забіваць мікраарганізмы або прыгнятаць іх рост.

Антыгены — чужародныя для арганізма рэчывы і аб’екты, здольныя выклікаць імунны адказ.

Антыкадон — участак малекулы тРНК, які складаецца з трох паслядоўных нуклеатыдаў і адказвае за злучэнне тРНК з іРНК у працэсе сінтэзу бялку. Калі кадон іРНК і антыкадон тРНК аказваюцца камплементарнымі, то паміж дзвюма амінакіслотамі, якія аказаліся побач у рэакцыйным цэнтры рыбасомы, узнікае пептыдная сувязь.

Антыцелы — гл. Імунаглабуліны.

Апаптоз — запраграмаваная гібель клетак. Працэс самаліквідацыі клетак, рэгулюемы арганізмам.

Апарат Гольджы — гл. Комплекс Гольджы.

Апладненне — працэс зліцця гамет, у выніку якога фарміруецца зігота.

Арганагенез — працэс фарміравання органаў у працэсе індывідувальнага развіцця арганізма.

Арганоіды — пастаянныя спецыялізаваныя структуры клеткі, якія выконваюць пэўныя функцыі. Адрозніваюць аднамембранныя, двухмембранныя і немембранныя арганоіды.

Асіміляцыя — гл. Пластычны абмен.

АТФ (адэназінтрыфосфарная кіслата) — рэчыва, якое выконвае ролю ўніверсальнага акумулятара і пераносчыка энергіі ў клетцы. У састаў малекулы АТФ

уваходзіць адэнін, рыбоза і тры астаткі фосфарнай кіслаты. Пры пачарговым адшчапленні двух астаткаў фосфарнай кіслаты паэтапна вызваляецца энергія, заключаная ў дзвюх макраэргічных сувязях малекулы АТФ.

Аўтбрыдынг — нятроднаснае (міжпароднае або міжсартавое) скрыжаванне.

Аўтагетэратрофы — арганізмы, здольныя як да аўтатрофнага, так і да гетэратрофнага жыўлення (напрыклад, *эўглена зялёная*).

Аўтафагія — разбурэнне пашкоджаных або неактыўных клетачных структур з дапамогай лізасом.

Аўтапаліплоіды— гл. Поліплаідыя.

Аўтасомы — непалавыя храмасовы; усе храмасомы, за выключэннем палавых.

Аўтатрофы — арганізмы, якія сінтэзуюць арганічныя рэчывы з неарганічных (зялёныя расліны, водарасці, некаторыя бактэрыі).

Аэробы — арганізмы, якія выкарыстоўваюць у працэсе клетачнага дыхання кісларод (усе расліны, большасць жывёл, грыбоў і пратыстаў, многія бактэрыі).

Біялагічныя палімеры (біяпалімеры) — высокамалекулярныя арганічныя злучэнні, якія змяшчаюцца ў клетках жывых арганізмаў і выконваюць выключна важныя біялагічныя функцыі. Да біяпалімераў адносяцца бялкі, поліцукрыды і нуклеінавыя кіслоты.

Біятэхналогія — галіна навукі і практычнай дзейнасці, звязаная з вытворчасцю розных прадуктаў пры дапамозе жывых арганізмаў, культывуемых клетак і біялагічных працэсаў.

Бластула — стадыя эмбрыянальнага развіцця жывёл: полы пузырок, сценка якога ўтворана адным слоем клетак — бластадэрмай.

Браджэнне — ферментатыўнае бескіслароднае расшчапленне арганічных рэчываў, пераважна вугляводаў. Характэрна для клетак анаэробаў, можа працякаць і ў клетках аэробных арганізмаў пры дэфіцыце кіслароду. У залежнасці ад канчатковых прадуктаў адрозніваюць малочнакіслае, воцатнакіслае, спіртавое і іншыя тыпы браджэння.

Буферныя растворы — растворы, у якіх пры змяненні саставу асяроддзя захоўваецца адноснае пастаянства канцэнтрацыі іонаў вадароду (H^+).

Бялкі — біяпалімеры, малекулы якіх утвораны амінакіслотнымі астаткамі (ад 50 да некалькіх тысяч), злучанымі пептыднымі сувязямі. Выконваюць у арганізме разнастайныя функцыі: структурную, каталітычную, рухальную, транспартную, ахоўную, рэцэпторную і інш.

Вадародная сувязь — слабае некавалентнае ўзаемадзеянне паміж атамам вадароду якой-небудзь малекулы, які мае часткова дадатны зарад, і электраадмоўным атамам (O, N, S і інш.) другой або той самай малекулы. Вадародныя

сувязі абумоўліваюць шэраг асобых уласцівасцей вады, стабілізуюць другасную структуру малекул бялкоў, ДНК і іншых рэчываў.

Вадародны паказчык (pH) — велічыня, якая характарызуе канцэнтрацыю або актыўнасць іонаў вадароду (H^+) у растворах. У водных растворах велічыня pH звычайна прымае значэнні ад 0 да 14. Нейтральнае асяроддзе характарызуецца значэннем pH = 7, у шчолачным асяроддзі pH больш за 7, у кіслым — менш за 7.

Вакуолі — арганоіды клеткі — аднамембранныя пузыркі або поласці, запоўненыя клетачным сокам. Асноўныя функцыі: захоўванне і ізаляцыя розных рэчываў, рэгуляцыя воднага балансу клеткі. У клетках пратыстаў могуць знаходзіцца скарачальныя вакуолі, якія выконваюць функцыю осмарэгуляцыі.

Вектары — штучна сканструяваныя малекулы ДНК, якія выкарыстоўваюцца ў генетычнай інжынерыі для пераносу генетычнага матэрыялу ў клеткі розных арганізмаў.

В-лімфацыты — клеткі імуннай сістэмы, якія пры кантакце з антыгенам або ў выніку стымуляцыі Т-лімфацытамі, актывіруюцца і выпрацоўваюць імунаглабулін (частка В-лімфацытаў становіцца клеткамі імуннай памяці).

Вугляводы — арганічныя злучэнні, малекулы якіх утвораны атамамі вугляроду, вадароду і кіслароду. Састаў большасці вугляводаў можна выразіць формулай $C_n(H_2O)_m$, дзе n і m роўныя тром і больш. Асноўныя біялагічныя функцыі: энергетычная, назапашваючая і структурная.

Гамалагічныя храмасомы — парныя храмасомы. Маюць аднолькавую будову, утрымліваюць аднолькавы набор генаў (могуць адрозніваецца толькі алельнымі формамі генаў) і вызначаюць развіццё адных і тых жа прымет. Гамалагічныя храмасомы могуць абменьвацца ўчасткамі ў ходзе меёзу (з’ява красінговеру).

Гаметагенез — працэс утварэння палавых клетак (гамет).

Гаметы — палавыя клеткі, якія забяспечваюць палавое размнажэнне арганізмаў. У пераважнай большасці выпадкаў змяшчаюць гаплоідны набор храмасом.

Гаплоідны набор храмасом — адзінарны набор храмасом ($1n$). Набор, у якім усе храмасомы няпарныя. Характэрны для палавых клетак і спор.

Гаструляцыя — працэс адасаблення двух першасных зародкавых лісткоў (эктадэрмы і энтадэрмы) у зародкаў шматлікіх жывёл.

Гаструла — стадыя эмбрыянальнага развіцця жывёл; зародак на гэтай стадыі мае сценку, утвораную двума слаямі клетак (знешні слой — эктадэма, унутраны — энтадэрма) і ўнутраную поласць — гастрацэль, якая звязваецца са знешнім асяроддзем адтулінай — гастрапорам (першасным ротам).

Гемафілія — спадчыннае парушэнне згусання крыві, абумоўленае рэцэсіўным генам, размешчаным у *X*-храмасоме чалавека. У хворых зніжаны або парушаны сінтэз аднаго з фактараў згусання крыві.

Ген — участак малекулы ДНК (участак храмасомы), які змяшчае інфармацыю аб структуры пэўнага бялку, рРНК або тРНК.

Генадыягностыка — сукупнасць метадаў, якія дазваляюць выяўляць і распазнаваць генетычныя змяненні ў клетках, а таксама выяўляць па спецыфічных генах узбуджальнікаў хвароб на ранніх этапах інфекцыйнага захворвання.

Генатып — сукупнасць генаў якой-небудзь асобіны.

Генетыка — навука, якая вывучае заканамернасці спадчыннасці і зменлівасці жывых арганізмаў.

Генетычна мадыфікаваныя арганізмы (ГМО) — гл. Трансгенныя арганізмы.

Генетычная (генная) інжынерыя — раздзел малекулярнай біялогіі, звязаны з выдзяленнем генаў з клетак жывых арганізмаў, ажыццяўленнем розных маніпуляцый з імі (у тым ліку — стварэннем гібрыдных малекул ДНК) і ўвядзеннем іх у іншыя арганізмы.

Генетычны код — універсальная для жывых арганізмаў сістэма запісу інфармацыі аб першаснай структуры бялкоў у выглядзе паслядоўнасці нуклеатыдаў ДНК (іРНК).

Генная тэрапія (генатэрапія) — лячэнне спадчынных захворванняў шляхам увядзення генаў у клеткі пацыентаў з мэтай накіраванага змянення генных дэфектаў або надання клеткам новых функцый.

Генныя мутацыі — мутацыі, пры якіх у межах аднаго гена мяняецца паслядоўнасць нуклеатыдаў ДНК.

Гено́м — сукупнасць генаў, характэрных для гаплоіднага набору храмасом дадзенага віду арганізмаў; гаплоідны набор генаў.

Геномныя мутацыі — мутацыі, звязаныя са змяненнем колькасці храмасом у клетках.

Гетэрагаметны пол — пол, які мае розныя палавыя храмасомы (або адну — няпарную) і які ўтварае два тыпы гамет. Напрыклад, у млекакормячых гэта мужчынскі пол (*XY*), у птушак — жаночы (*ZW*).

Гетэразіготная асобіна (гетэразігота) — арганізм, у клетках якога змяшчаюцца розныя алельныя гены, напрыклад *Aa*, *Bb*, $I^{A}I^{B}$.

Гетэраплаідыя (анеўплаідыя) — тып геномных мутацый, звязаны з лішкам або недахопам храмасом у пэўных гамалагічных парах, пры гэтым клеткі мутанта змяшчаюць колькасць храмасом, не кратную гаплоіднаму набору.

Гетэратрофы — арганізмы, якія жывяцца гатовымі арганічнымі рэчывамі, паколькі не здольны сінтэзаваць іх з неарганічных злучэнняў (жывёлы, грыбы, многія пратысты і бактэрыі, бесхларафільныя расліны-паразіты).

Гетэрозіс (гібрыдная магутнасць) — павышэнне жыццядзейнасці і прадукцыйнасці гібрыдаў у параўнанні з бацькоўскімі формамі.

Гібрыд — патомак ад скрыжавання генетычна розных бацькоўскіх форм.

Гібрыдызацыя — працэс скрыжавання асобін аднаго віду (унутрывідавая гібрыдызацыя) або розных відаў, родаў (аддаленая гібрыдызацыя).

Гістагенез — працэс фарміравання тканак у працэсе індывідуальнага развіцця арганізма.

Гіялаплазма — унутранае асяроддзе клеткі, у якім размешчаны ўсе ўнутрыклетачныя структуры. Уяўляе сабой вязкі раствор, які змяшчае розныя арганічныя і неарганічныя рэчывы.

Глікакалікс — надмембранны комплекс клетак жывёл. Утвораны малекуламі аліга- і поліцукрыдаў, якія кавалентна звязаны з ліпідамі і бялкамі плазмалемы. Асноўныя функцыі: рэцэпторная, пазнавальная.

Глікаліпіды — рэчывы, якія ўтвараюцца ў выніку злучэння ліпідаў з вугляводамі.

Гліколіз — шматступенчаты працэс ферментатыўнага бескіслароднага расшчаплення глюкозы да піравінаграднай кіслаты, які працякае ў цытаплазме клетак.

Гомагаметны пол — пол, які мае аднолькавыя палавыя храмасомы і ўтварае адзін тып гамет. Напрыклад, у млекакормячых гэта жаночы пол (XX), у птушак — мужчынскі (ZZ).

Гомазіготная асобіна (гомазігота) — арганізм, у клетках якога змяшчаюцца аднолькавыя алельныя гены, напрыклад AA, aa, I^BI^B.

Грана — група тылакоідаў, якія ляжаць адзін на адным і знаходзяцца ў хлорапластах раслінных клетак.

Група счаплення — група генаў, якія знаходзяцца ў адной і той жа храмасоме. Колькасць груп счаплення роўна ліку пар храмасом.

Дамінантны ген (прымета) — ген (і адпаведная прымета), які праяўляецца ў фенатыпе ў гетэразіготных асобін і падаўляе праяўленне другога гена і прыметы (рэцэсіўнай).

ДНК (дэзаксірыбануклеінавая кіслата) — біяпалімер, ланцугі якога пабудаваны з чатырох тыпаў нуклеатыдаў, што змяшчаюць дэзаксірыбозу і адрозніваюцца азоцістай асновай (А, Т, Г, Ц). Малекула ДНК складаецца з поліНуклеатыдных ланцугоў, злучаных паміж сабой вадароднымі сувязямі, прычым нуклеатыды розных ланцугоў размяшчаюцца адзін супраць другога па прынцыпе камплементарнасці. У клетках ДНК забяспечвае захаванне спадчыннай інфармацыі і яе перадачу даччыным клеткам.

Драбленне — паслядоўнае мнагакратнае дзяленне зіготы мітозам, якое прыводзіць да павелічэння колькасці даччыных клетак (бластамераў) без іх росту.

Дуплікацыя — унутрыхрамасомная мутацыя, пры якой узнікае двукратны або шматкратны паўтор участка храмасомы.

Дыгібрыднае скрыжаванне — скрыжаванне форм, якія адрозніваюцца па дзвюх парах альтэрнатыўных прымет.

Дыплоідны набор храмасом — двайны набор храмасом ($2n$), які характэрны для саматычных клетак большасці арганізмаў. У дыплоідным наборы ўсе храмасомы парныя.

Дысіміляцыя — гл. Энергетычны абмен.

Дысульфідныя сувязі (дысульфідныя масцікі) — кавалентныя сувязі паміж атамамі серы, якія ўваходзяць у састаў астаткаў амінакіслаты цыстэіну. Дысульфідныя сувязі стабілізуюць трацічную структуру бялковых малекул.

Дыфузія — самаадвольнае перамяшчэнне часціц рэчыва з вобласці высокай канцэнтрацыі гэтага рэчыва ў вобласць больш нізкай.

Дэлецыя — унутрыхрамасомная мутацыя, у выніку якой адбываецца страта ўчастка храмасомы.

Дэнатурацыя — страта прыроднай структуры малекуламі біяпалімераў (бялкоў, нуклеінавых кіслот) пад уздзеяннем фізічных або хімічных фактараў без разбурэння першаснай структуры. Дэнатурацыя вядзе да змянення прасторавай канфігурацыі і ўласцівасцей біяпалімеру, можа быць поўнай і частковай, абарачальнай і неабарачальнай.

Зігота — дыплоідная клетка, якая ўтвараецца ў выніку зліцця дзвюх гамет. У раслін, жывёл, грыбоў і некаторых пратыстаў — аплодненая яйцаклетка.

Зменлівасць — здольнасць арганізмаў набываць новыя прыметы і ўласцівасці, якія адрозніваюць іх ад бацькоўскіх форм. Вылучаюць спадчынную (генатыпічную) і няспадчынную (мадыфікацыйную) зменлівасць.

Імунаглабуліны (антыцелы) — ахоўныя бялкі, якія спецыфічна звязваюцца з пэўнымі антыгенамі і нейтралізуюць іх, утвараючы комплексы «антыген-антыцела». Імунаглабуліны выпрацоўваюцца актываванымі В-лімфацытамі і распаўсюджваюцца ў арганізме крывёю, лімфай, тканкавай вадкасцю.

Імунітэт — здольнасць арганізма супрацьстаяць уздзеянню розных антыгенаў, а таксама захоўваць пастаянства ўнутранага асяроддзя і сваю біялагічную індывідуальнасць.

Інбрыдынг — блізкароднаснае скрыжаванне.

Інбрэдная дэпрэсія — зніжэнне жыццяздольнасці і прадукцыйнасці патомства пры інбрыдынгу, абумоўленае пераходам шкодных рэцэсіўных мутацый у гомазіготны стан.

Інверсія — унутрыхрамасомная мутацыя, у выніку якой участак храмасомы паварочваецца на 180°, пры гэтым мяняецца паслядоўнасць размяшчэння генаў.

Індуцыраваныя мутацыі — мутацыі, якія ўзнікаюць пад уздзеяннем тых або іншых мутагенаў у штучных (эксперыментальных) умовах.

Інтэрфаза — частка клетачнага цыклу паміж двума паслядоўнымі дзяленнямі. Як правіла, уключае тры перыяды: прэсінтэтычны (G_1), сінтэтычны (S) і постсінтэтычны (G_2).

Інтэрфероны — ахоўныя бялкі, якія валодаюць супрацьвіруснымі і супрацьпухліннымі ўласцівасцямі.

іРНК, мРНК (інфармацыйныя, або матрычныя, РНК) — малекулы РНК, якія змяшчаюць закадзіраваную інфармацыю аб структуры пэўных бялкоў і служаць матрыцамі для сінтэзу гэтых бялкоў на рыбасомах.

Кадамінаванне — раўнацэнны ўдзел абодвух алельных генаў у фарміраванні прыметы ў гетэразіготнай асобіны. Прыкладам можа служыць узаемадзеянне дамінантных генаў, якія вызначаюць групы крыві: у чалавека з генатыпам I^AI^B кожны ген у поўнай меры праяўляецца, таму эрытрацыты змяшчаюць абодва антыгены — A і B (IV група крыві).

Кадон (трыплет) — участак ДНК або іРНК, які складаецца з трох паслядоўных нуклеатыдаў і кадзіруе пэўную амінакіслату (або служыць сігналам заканчэння сінтэзу бялку — тэрмінуючы кадон, стоп-кадон).

Камбінатыўная зменлівасць — зменлівасць патомства, абумоўленая ўзнікненнем новых спалучэнняў (камбінацый) генаў бацькоў. Крыніцы камбінатыўнай зменлівасці: красінговер, незалежнае разыходжанне храмасом у анафазе I меёзу, выпадковае злучэнне гамет пры апладненні.

Камплементарнасць — узаемная адпаведнасць у будове ўзаемадзеючых малекул. У малекуле ДНК назіраецца строгая адпаведнасць парных нуклеатыдаў адзін другому. Камплементарныя пары ўтвараюць азоцістыя асновы: адэнін і тымін, гуанін і цытазін.

Каньюгацыя — 1) збліжэнне гамалагічных храмасом у прафазе I меёзу; 2) палавы працэс без удзелу гамет, у ходзе якога адбываецца абмен, перадача або аб'яднанне генетычнай інфармацыі розных клетак (асобін). Характэрны для бактэрый, сустракаецца ў некаторых пратыстаў і грыбоў.

Караціноіды — пігменты чырвонага, жоўтага, аранжавага колераў, якія ўдзельнічаюць у працэсе фотасінтэзу. Утрымліваюцца ў хларапластах і храмапластах.

Карыятып — сукупнасць прымет храмасомнага набору (колькасць, памер, форма, будова храмасом), характэрных для клетак пэўнага віду жывых арганізмаў.

Катабалізм — гл. Энергетычны абмен.

Клетачнае дыханне — складаны шматстадыйны працэс, у ходзе якога адбываецца расшчапленне арганічных рэчываў (у канчатковым выніку да неарганічных злучэнняў), а вызваленая энергія іх хімічных сувязей назапашваецца ў выглядзе

АТФ. У большасці арганізмаў клетачнае дыханне ідзе з выкарыстаннем кіслароду (аэробнае дыханне), у некаторых — без удзелу кіслароду (анаэробнае дыханне).

Клетачная інжынерыя — культываванне ў спецыяльных умовах ізаляваных клетак або тканак раслін, жывёл і мікраарганізмаў, уключаючы розныя маніпуляцыі з імі (зліццё клетак, выдаленне або перасадка арганоідаў і г. д.).

Клетачная культура — сукупнасць клетак пэўнага віду мікраарганізмаў або пэўнай тканкі раслін і жывёл, якая вырашчана ў штучных умовах на пажыўным асяроддзі.

Клетачны сок — змесціва вакуоляў, што ўяўляе сабой водны раствор, які змяшчае розныя арганічныя і мінеральныя рэчывы (біялагічна актыўныя, запасныя, канчатковыя прадукты абмену, пігменты і г. д.).

Клетачны цыкл — існаванне клеткі ад моманту яе ўтварэння ў працэсе дзялення мацярынскай клеткі да ўласнага дзялення (уключаючы гэтае дзяленне) або гібелі.

Клетачны цэнтр — немембранны арганоід, які складаецца з двух перпендыкулярна размешчаных цыліндрычных цельцаў (цэнтрыёляў), ад якіх у розных напрамках адыходзяць мікратрубачкі. Характэрны для жывёльных клетак, адсутнічае ў большасці раслін. З’яўляецца цэнтрам арганізацыі мікратрубачак, забяспечвае фарміраванне і функцыянаванне верацяна дзялення клеткі.

Комплекс (апарат) Гольджы — аднамембранны арганоід клеткі, які ўяўляе сабой сістэму цыстэрнаў, трубачак і пузыркоў. Удзельнічае ў накапленні, захаванні і транспарціроўцы розных рэчываў, вывядзенні іх за межы клеткі, у пабудове клетачнай абалонкі, утварэнні лізасом.

Красоверныя (рэкамбінантныя) гаметы і асобіны — гаметы, утвораныя ў выніку красінговера, якія змяшчаюць новыя камбінацыі бацькоўскіх генаў, а таксама асобіны, якія з’яўляюцца пры ўдзеле такіх гамет.

Красінговер — абмен участкамі паміж гамалагічнымі храмасомамі ў працэсе меёзу.

Крысты — складкі, якія ўтвараюцца ўнутранай мембранай мітахондрый.

Лейкапласты — бясколерныя пластыды, якія змяшчаюць запасныя пажыўныя рэчывы.

Лізасомы — арганоіды клеткі — невялікія аднамембранныя пузыркі, якія змяшчаюць набор стрававальных ферментаў. Забяспечваюць расшчапленне складаных арганічных рэчываў (унутрыклетачнае страваванне), разбурэнне пашкоджаных або неактыўных клетачных кампанентаў.

Ліпапратэіны — рэчывы, якія ўтвараюцца ў выніку злучэння ліпідаў з бялкамі.

Ліпіды — вялікая група тлушчаў і тлушчападобных рэчываў. Многія ліпіды ўяўляюць сабой складаныя эфіры спіртоў і карбонавых кіслот. Асноўныя біялагічныя функцыі: энергетычная, структурная, ахоўная, рэгулятарная.

Локус — участак храмасомы, які займае той або іншы ген.

Мадыфікацыйная зменлівасць — змяненне фенатыпу пад уздзеяннем фактараў навакольнага асяроддзя, якое адбываецца без змянення генатыпу ў межах нормы рэакцыі.

Макраэлементы — хімічныя элементы, утрыманне якіх у жывых арганізмах складае ад дзясяткаў працэнтаў да 0,01 %. Да макраэлементаў адносяцца: кісларод, вуглярод, вадарод, азот, фосфар, сера, хлор, кальцый, магній, натрый, калій.

Манасомія — адсутнасць у храмасомным наборы дыплоіднага арганізма адной храмасомы ($2n$ — 1). Геномная мутацыя, прыватны выпадак гетэраплаідыі.

Марганіда — адзінка частаты красінговера і адноснай адлегласці паміж генамі. Генетычная адлегласць, на якой красінговер адбываецца з верагоднасцю 1 %.

Матрыкс мітрахондрыі — прастора, абмежаваная ўнутранай мембранай мітахондрыі, а таксама змесціва гэтай прасторы.

Меёз — спосаб дзялення эўкарыятычных клетак, у выніку якога з адной мацярынскай клеткі ўтвараюцца чатыры даччыныя клеткі з паменшаным у 2 разы наборам храмасом. Складаецца з двух ідучых адно за другім дзяленняў (меёз I і меёз II).

Мезадэрма — сярэдні зародкавы лісток, які закладваецца паміж эктадэрмай і энтадэрмай у большасці жывёл. З мезадэрмы ў пазваночных жывёл развіваюцца тканкі ўнутранага асяроддзя, апорна-рухальны апарат, крывяносная, выдзяляльная і палавая сістэмы.

Мезасомы — мембранныя структуры пракарыёт, якія ўтвараюцца шляхам ўціскання плазмалемы ўнутр цытаплазмы. Змяшчаюць ферменты, якія забяспечваюць працяканне разнастайных рэакцый абмену рэчываў.

Метабалізм — гл. Абмен рэчываў.

Мікратрубачкі — тонкія полыя трубачкі, утвораныя малекуламі бялку тубуліну. Уваходзяць у састаў цыташкілета, цэнтрыёляў, раснічак і жгуцікаў, забяспечваюць унутрыклетачны транспарт розных часціц і арганоідаў, утвараюць верацяно дзялення клеткі.

Мікрафіламенты — вельмі тонкія бялковыя валокны, якія складаюцца з малекул бялку актыну. Уваходзяць у састаў цыташкілета, забяспечваюць рух гіялаплазмы, амебоідны рух клетак, удзельнічаюць у працэсах энда- і экзацытозу.

Мікраэлементы — хімічныя элементы, якія змяшчаюцца ў жывых арганізмах у выключна малых колькасцях (менш за 0,01 %). Да іх адносяцца жалеза, цынк, медзь, фтор, ёд, крэмній, марганец, кобальт, малібдэн і інш.

Мітахондрыі — двухмембранныя арганоіды, якія ўдзельнічаюць у працэсе клетачнага дыхання і забяспечваюць клетку энергіяй у выглядзе АТФ.

Мітоз — асноўны спосаб дзялення эўкарыятычных клетак, пры якім з адной мацярынскай клеткі ўтвараюцца дзве даччыныя з такім жа наборам храмасом, як і ў мацярынскай клетцы. Мітоз складаецца з чатырох паслядоўных фаз — прафазы, метафазы, анафазы і тэлафазы.

Множны алелізм — існаванне гена больш чым у дзвюх алельных формах. Напрыклад, для гена, які вызначае групы крыві чалавека, вядомы тры алельныя формы: I^A, I^B і I^0.

Монагібрыднае скрыжаванне — скрыжаванне форм, якія адрозніваюцца па адной пары альтэрнатыўных прымет.

Монацукрыды — прасцейшыя па структуры вугляводы, манамеры аліга- і поліцукрыдаў. Важнейшымі з іх з'яўляюцца пентозы (C_5-цукры; напрыклад, рыбоза і дэзаксірыбоза) і гексозы (C_6-цукры; напрыклад, глюкоза).

мРНК (матрычныя РНК) — гл. іРНК (інфармацыйныя РНК).

Мутагенез — працэс узнікнення мутацый.

Мутагенныя фактары (мутагены) — фізічныя, хімічныя і біялагічныя фактары, якія прыводзяць да ўзнікнення мутацый у жывых арганізмаў.

Мутанты — арганізмы, якія змянілі фенатып у выніку праяўлення мутацыі.

Мутацыі — наследуемыя змяненні генетычнага матэрыялу арганізмаў.

Мутацыйная зменлівасць — тып спадчыннай зменлівасці, прычынай якога з'яўляюцца мутацыі.

НАДФ, **НАД** і **ФАД** — каферменты, якія ўдзельнічаюць у абмене рэчываў; рэчывы, якія іграюць ролю пераносчыкаў атамаў вадароду і электронаў у клетцы.

Неалельныя гены — гены, размешчаныя ў негамалагічных храмасомах (у гэтым выпадку яны наследуюцца незалежна) або ў розных локусах гамалагічных храмасом (у гэтым выпадку яны наследуюцца счэплена).

Незаменныя амінакіслоты — неабходныя амінакіслоты, якія не сінтэзуюцца ў тым або іншым арганізме і павінны паступаць у саставе ежы. Напрыклад, для дарослага здаровага чалавека незаменнымі з'яўляюцца 8 амінакіслот: трыптафан, валін, лізін, лейцын, ізалейцын, трэанін, фенілаланін і метыянін. Для дзяцей незаменнымі таксама з'яўляюцца аргінін і гістыдын.

Нейрула — стадыя эмбрыянальнага развіцця хордавых жывёл, на якой адбываецца закладка і фарміраванне нервовай трубкі і іншых восевых органаў (хорды, кішэчнай трубкі).

Некроз — гібель клетак і тканак у жывым арганізме, выкліканая дзеяннем пашкоджваючых фактараў рознай прыроды.

Неспецыфічны імунітэт — ахоўныя механізмы, якія перашкаджаюць пранікненню ў арганізм чужародных аб'ектаў або накіраваныя на іх знішчэнне без спецыфічнага распазнавання (бар'ерныя ўласцівасці скуры і слізістых абалонак, фагацытоз, функцыянаванне інтэрферонаў, лізацыму, камплементу і інш.).

Норма рэакцыі — межы мадыфікацыйнай зменлівасці прыметы. Норма рэакцыі вызначаецца генатыпам і перадаецца ў спадчыну.

Нуклеатыды — арганічныя злучэнні, малекулы якіх складаюцца з азоцістай асновы, пяцівугляроднага монацукрыду (рыбозы або дэзаксірыбозы) і астатку фосфарнай кіслаты. З нуклеатыдаў пабудаваны малекулы нуклеінавых кіслот.

Нуклеінавыя кіслоты — біяпалімеры, манамерамі якіх з'яўляюцца нуклеатыды. Вядомы два тыпы нуклеінавых кіслот: дэзаксірыбануклеінавыя (ДНК) і рыбануклеінавыя (РНК). Яны змяшчаюцца ў клетках усіх жывых арганізмаў, забяспечваючы захаванне, перадачу і рэалізацыю спадчыннай інфармацыі.

Нулісомія — адсутнасць у храмасомным наборы дыплоіднага арганізма пары гамалагічных храмасом ($2n - 2$). Геномная мутацыя, прыватны выпадак гетэраплаідыі.

Няпоўнае дамінаванне — узаемадзеянне алельных генаў, пры якім дамінантны ген не цалкам падаўляе праявы рэцэсіўнага гена, таму ў гетэразігот праяўляецца не дамінантная, а прамежкавая прымета.

Осмас — дыфузія малекул растваральніка (напрыклад, вады) праз паўпранікальную мембрану (напрыклад, плазмалему), якая раздзяляе растворы з рознай канцэнтрацыяй раствораных рэчываў. Пры гэтым малекулы растваральніка перамяшчаюцца з менш канцэнтраванага раствору ў больш канцэнтраваны.

Палярныя цельцы — дробныя гаплоідныя клеткі без запасу пажыўных рэчываў, якія ўтвараюцца пры аагенезе ў працэсе меятычнага дзялення аацыту і затым гінуць.

Партэнагенез — развіццё арганізма з неаплодненай яйцаклеткі.

Пептыдная сувязь — від кавалентнай сувязі, якая ўзнікае ў выніку ўзаемадзеяння амінагрупы ($-NH_2$) адной амінакіслаты з карбаксільнай групай ($-COOH$) другой амінакіслаты.

Пептыды — арганічныя рэчывы, малекулы якіх складаюцца з астаткаў амінакіслот, злучаных пептыднымі сувязямі. Пептыды, у састаў якіх уваходзіць больш за 10 астаткаў амінакіслот, называюцца поліпептыдамі.

Пінацытоз — працэс паглынання клеткай вадкасці (са знаходзячыміся ў ёй рэчывамі) у выглядзе дробных капель. Ажыццяўляецца шляхам захопу гэтых капель вырастамі плазмалемы з далейшым заключэннем іх у мембранную ўпакоўку.

Пірымідзінавыя асновы (пірымідзіны) — азоцістыя асновы, якія з'яўляюцца вытворчымі цыклічнага злучэння — пірымідзіну. У састаў нуклеінавых кіслот уваходзяць пірымідзінавыя асновы: тымін (у ДНК), урацыл (у РНК) і цытазін.

Плазмалема — гл. Цытаплазматычная мембрана.

Плазміды — пазахрамасомныя фактары спадчыннасці; кальцавыя (радзей лінейныя) малекулы ДНК, здольныя існаваць у клетцы ў аўтаномным (не звязаным з храмасомамі) стане, самастойна падвойвацца і пры дзяленні перадавацца даччыным клеткам.

Пластыды — двухмембранныя арганоіды клетак раслін і водарасцей. У раслін адрозніваюць тры асноўныя тыпы пластыд: хларапласты, храмапласты і лейкапласты.

Пластычны абмен (асіміляцыя, анабалізм) — сукупнасць рэакцый сінтэзу складаных арганічных злучэнняў з больш простых рэчываў. Суправаджаецца затратамі (паглынаннем) энергіі. Працэсамі пластычнага абмену з'яўляюцца ўсе рэакцыі матрычнага сінтэзу, фотасінтэз і інш.

Поліплаідыя (аўтаполіплаідыя) — тып геномных мутацый; павелічэнне ліку храмасом у клетках якога-небудзь арганізма, кратнае гаплоіднаму набору. Пры гэтым могуць узнікаць трыплоідныя ($3n$), тэтраплоідныя ($4n$) і г. д. клеткі.

Поліцукрыды — біяпалімеры, малекулы якіх пабудаваны з мноства астаткаў монацукрыдаў. Могуць мець лінейную (напрыклад, цэлюлоза) або разгалінаваную (напрыклад, глікаген) структуру.

Полімеразная ланцуговая рэакцыя (ПЦР) — метад малекулярнай біялогіі, які дазваляе мнагакратна ўзнавіць (г. зн. «размножыць») пэўны фрагмент ДНК. ПЦР шырока прымяняецца ў біялогіі і медыцыне, напрыклад для дыягностыкі шэрага захворванняў (спадчынных, інфекцыйных), устанаўлення бацькоўства, кланіравання генаў і інш.

Поўнае дамінаванне — узаемадзеянне алельных генаў, пры якім дамінантны ген цалкам прыгнятае праяўленне рэцэсіўнага гена.

Пракарыёты — арганізмы, клеткі якіх не маюць афармленага ядра (даядзерныя арганізмы). Да пракарыётаў адносяцца бактэрыі.

Простае бінарнае дзяленне — дзяленне пракарыятычнай клеткі на дзве прыкладна аднолькавыя па памерах даччыныя клеткі.

Пурынавыя асновы (пурыны) — азоцістыя асновы, якія з'яўляюцца вытворнымі складанага цыклічнага злучэння — пурыну. У састаў нуклеінавых кіслот уваходзяць пурынавыя асновы: адэнін і гуанін.

Раздражняльнасць — здольнасць жывых клетак, тканак або цэлага арганізма рэагаваць на змяненні знешняга і ўнутранага асяроддзя.

РНК (рыбануклеінавая кіслата) — біяпалімер, ланцугі якога пабудаваны з чатырох тыпаў нуклеатыдаў, якія змяшчаюць рыбозу і адрозніваюцца азоці-

стай асновай (А, У, Г, Ц). Як правіла, РНК уяўляе сабой адзін полінуклеатыдны ланцуг, які прымае пэўную прасторавую канфігурацыю. Адрозніваюць тры тыпы РНК: інфармацыйную або матрычную (іРНК, мРНК), транспартную (тРНК) і рыбасомную (рРНК).

рРНК (рыбасомныя РНК) — малекулы РНК, якія злучаюцца са спецыфічнымі бялкамі і ўтвараюць субадзінкі рыбасом. Асноўная функцыя рРНК — забеспячэнне працэсу сінтэзу бялку.

Рыбасомы — найменшыя немембранныя арганоіды (15—30 нм), якія ажыццяўляюць біясінтэз бялкоў. Утрымліваюцца як у эўкарыятычных клетках, так і ў клетках пракарыёт.

Рэакцыя матрычнага сінтэзу — працэс сінтэзу з манамераў малекулы біяпалімеру, будова якога цалкам вызначаецца структурай малекулы-матрыцы (прадукт рэакцыі матрычнага сінтэзу ўяўляе сабой «адбітак» або «злепак» матрыцы). Асноўныя рэакцыі матрычнага сінтэзу: рэплікацыя, транскрыпцыя і трансляцыя.

Рэнатурацыя — аднаўленне прыроднай (біялагічна актыўнай) прасторавай структуры біяпалімеру (бялку, нуклеінавай кіслаты) пасля дэнатурацыі.

Рэплікацыя — удваенне малекулы ДНК, адна з рэакцый матрычнага сінтэзу. Біясінтэз двух даччыных ланцугоў ДНК ажыццяўляецца з выкарыстаннем зыходных (мацярынскіх) ланцугоў у якасці матрыц.

Рэцэсіўны ген (прымета) — ген (і адпаведная прымета), які не праяўляецца ў фенатыпе ў гетэразіготных асобін або праяўляецца толькі часткова (пры няпоўным дамінаванні).

Самарэгуляцыя — здольнасць біялагічных сістэм падтрымліваць на пэўным, адносна пастаянным узроўні тыя або іншыя паказчыкі, г. зн. забяспечваць гамеастаз.

Саматычная гібрыдызацыя — метад клетачнай інжынерыі, у працэсе якога ажыццяўляецца зліццё розных тыпаў саматычных клетак аднаго арганізма або клетак арганізмаў, якія належаць да розных відаў.

Саматычныя клеткі — клеткі, якія складаюць цела жывых арганізмаў за выключэннем палавых клетак (гамет).

Секвеніраванне ДНК — вызначэнне паслядоўнасці нуклеатыдаў малекулы ДНК.

Селекцыя — навука аб стварэнні новых і паляпшэння ўжо існуючых сартоў культурных раслін, парод свойскіх жывёл і штамаў мікраарганізмаў.

Сістэма камплімента — каля 20 бялкоў плазмы крыві, здольных фарміраваць на паверхні чужародных клетак асобыя комплексы, якія перфарыруюць мембрану.

Сіфонавая арганізацыя — форма структурнай арганізацыі, пры якой арганізм уяўляе сабой адну гіганцкую мнагаядзерную, часта разгалінаваную клетку.

Спадчыннасць — уласцівасць жывых арганізмаў захоўваць і перадаваць патомкам свае прыметы і ўласцівасці ў нязменным выглядзе.

Спантанныя мутацыі — мутацыі, якія ўзнікаюць у арганізмаў самаадвольна, у нармальных для іх умовах навакольнага асяроддзя.

Сперматагенез — працэс утварэння мужчынскіх палавых клетак.

Спецыфічны імунітэт — ахоўныя рэакцыі арганізма, ажыццяўляемыя імуннай сістэмай, у ходзе якіх адбываецца спецыфічнае распазнаванне і наступнае знішчэнне антыгену.

Строма хларапласту — унутранае асяроддзе хларапласту, якое змяшчае тылакоіды.

Счэпленае наследаванне — сумеснае наследаванне генаў, размешчаных у адной храмасоме.

Счэпленыя з полам прыметы — прыметы, якія кантралююцца генамі, размешчанымі ў палавых храмасомах.

Т-лімфацыты — клеткі імуннай сістэмы, якія праходзяць этап стварэння (клетачнай дыферэнцыроўкі) у вілачкавай залозе — тымусе. Іграюць важную ролю ў спецыфічным імунным адказе. Асноўныя класы: Т-хелперы, Т-кілеры і Т-супрэсары.

Тлушчы — важнейшая група ліпідаў, якія ўяўляюць сабой складаныя эфіры спірту гліцэрыну і карбонавых кіслот.

Трансгенныя арганізмы — арганізмы, геном якіх быў зменены шляхам генна-інжынерных аперацый і змяшчае хоць бы адзін ген другога арганізма, які актыўна функцыянуе.

Транскрыпцыя — біясінтэз РНК на адпаведных участках аднаго з ланцугоў ДНК (транскрыбіруемага) — адна з рэакцый матрычнага сінтэзу.

Транслакацыя — міжхрамасомная мутацыя, пры якой дзве негамалагічныя храмасомы ўзаемна абменьваюцца ўчасткамі або адбываецца перанос участка адной храмасомы на другую, негамалагічную.

Трансляцыя — біясінтэз бялку з амінакіслот, які адбываецца на рыбасомах, — адна з рэакцый матрычнага сінтэзу (матрыцай служыць іРНК).

тРНК (транспартныя РНК) — невялікія малекулы РНК, якія маюць прасторавую канфігурацыю, што нагадвае ліст канюшыны. Дастаўляюць пэўныя амінакіслоты на рыбасомы і забяспечваюць іх уключэнне ў растучы поліпептыдны ланцуг.

Трыплет — см. Кадон.

Трысомія — наяўнасць адной лішняй храмасомы ў дыплоідным наборы ($2n + 1$), г. зн. наяўнасць трох гамалагічных храмасом замест дзвюх; геномная мутацыя, прыватны выпадак гетэраплаідыі.

Тургарны ціск — ціск унутранага змесціва клеткі на яе абалонку, унутрыклетачны ціск.

Тылакоіды — замкнутыя мембранныя структуры, утвораныя ўнутранай мембранай хларапласту. Змяшчаюць фотасінтэтычныя пігменты.

Уключэнні — непастаянныя ўнутрыклетачныя ўтварэнні, часцей за ўсё запасныя пажыўныя рэчывы або канчатковыя прадукты абмену рэчываў.

Фагацытоз — працэс захопу і паглынання клеткай пажыўных часцінак, другіх клетак (напрыклад, паглынанне лейкацытамі мікраарганізмаў) або макрамалекул. Пры фагацытозе ўтвараюцца выпінанні плазмалемы, якія акружаюць паглынаемую часцінку і заключаюць яе ў мембранную ўпакоўку.

Фагацыты — спецыялізаваныя клеткі жывёл і чалавека, здольныя да фагацытозу (зярністыя лейкацыты, макрафагі).

Фенатып — сукупнасць усіх прымет і ўласцівасцей арганізма, якія фарміруюцца ў працэсе ўзаемадзеяння яго генатыпу і знешняга асяроддзя.

Фенатыповы радыкал — частка генатыпу асобіны, якая вызначае яе фенатып. Напрыклад, для асобіны, у якой праявіліся дзве дамінантныя прыметы гэта: *A*-*B*-.

Фенілкетанурыя — аўтасомна-рэцэсіўнае спадчыннае захворванне чалавека, звязанае з мутацыяй гена, які кадзіруе фермент, што ператварае фенілаланін у тыразін. У арганізме хворага збіраюцца ядавітыя прадукты абмену фенілаланіну, што прыводзіць да паражэння нервовай сістэмы і прыдуркаватасці.

Ферамоны — біялагічна актыўныя рэчывы, якія выпрацоўваюцца спецыялізаванымі залозамі (або клеткамі) жывёл, выдзяляюцца ў знешняе асяроддзе і аказваюць уздзеянне на паводзіны, фізіялагічны стан або развіццё асобін таго ж віду.

Ферменты — бялкі, якія выконваюць функцыю біялагічных каталізатараў, г. зн. паскараюць працяканне хімічных рэакцый у жывых арганізмах.

Фосфаліпіды — складаныя ліпіды, у малекулах якіх змяшчаецца астатак фосфарнай кіслаты. Уваходзяць у састаў біялагічных мембран.

Фотасінтэз — працэс утварэння арганічных рэчываў з вуглякіслага газу і вады, які працякае з паглынаннем светлавой энергіі пры ўдзеле фотасінтэтычных пігментаў у клетках зялёных раслін, водарасцей і некаторых бактэрый.

Фотасістэмы — асобыя пігмент-бялковыя комплексы, якія змяшчаюцца ў мембранах тылакоідаў хларапластаў. Адрозніваюць два тыпы фотасістэм: фотасістэму I і фотасістэму II. У састаў кожнай фотасістэмы ўваходзіць святлозбіраючая антэна, якая ўтворана малекуламі пігментаў, рэакцыйны цэнтр і пераносчыкі электронаў.

Хларапласты — зялёныя пластыды, у якіх адбываецца фотасінтэз. Змяшчаюць хларафілы і іншыя фотасінтэтычныя пігменты.

Хларафілы — зялёныя пігменты раслін і водарасцей, з дапамогай якіх яны паглынаюць светлавую энергію і ажыццяўляюць фотасінтэз. Існуе некалькі тыпаў хларафілаў, якія адрозніваюцца асаблівасцямі будовы і спектрам паглынання святла.

Храмапласты — афарбаваныя пластыды рознай формы ў клетках спелых пладоў і пялёсткаў многіх раслін. Роля храмапластаў — прыцягненне апыляльнікаў і распаўсюджвальнікаў пладоў і насення.

Храмасомныя мутацыі — мутацыі, звязаныя са змяненнем структуры асобных храмасом.

Храмасомы — структурныя кампаненты клетачнага ядра. Змяшчаюць ДНК, у якім заключана спадчынная інфармацыя арганізма. Могуць быць у двух станах: спіралізаваным (кампактызаваным) — падчас дзялення клеткі або дэспіралізаваным (у выглядзе хроматыну) — падчас інтэрфазы.

Храматыды сястрынскія — дзве ідэнтычныя малекулы ДНК (у комплексе з бялкамі), з якіх складаецца храмасома пасля рэплікацыі. У працэсе мітозу або меёзу храматыды разыходзяцца да процілеглых полюсаў клеткі і называюцца дачынымі храмасомамі.

Храмацін — комплекс ДНК, РНК і бялкоў, які змяшчаецца ў ядры клеткі. У працэсе клетачнага дзялення храмацін спіралізуецца (кампактызуецца), утвараючы кампактныя структуры — храмасомы.

Цыталогія — навука, якая вывучае будову, функцыянаванне, размнажэнне і развіццё клетак.

Цытаплазма — унутранае змесціва клеткі, за выключэннем ядра. Цытаплазма складаецца з гіялаплазмы, арганоідаў, уключэнняў і цыташкілета.

Цытаплазматычная мембрана (плазмалема) — універсальная біялагічная мембрана, якая аддзяляе ўнутранае змесціва любой клеткі ад знешняга асяроддзя (напрыклад, у жывёл) або клетачнай абалонкі (у раслін, грыбоў і інш.). Важнейшыя функцыі: бар'ерная, рэцэпторная, транспартная.

Цыташкілет — унутрыклетачная сістэма мікратрубачак і мікрафіламентаў. Выконвае апорную функцыю і забяспечвае ўнутрыклетачныя рухі.

Цэнтрыёлі — полыя цыліндры, утвораныя 9 трыплетамі мікратрубачак, структурныя кампаненты клетачнага цэнтра.

Чыстыя лініі — групы асобін, у якіх даследуемая прымета пастаянна аднаўляецца з пакалення ў пакаленне; арганізмы, гомазіготныя паводле вывучаемых генаў і аднародныя паводле адпаведных прымет.

Штучны адбор — выбар чалавекам найбольш каштоўных у гаспадарчых адносінах жывёл, раслін і мікраарганізмаў для далейшага атрымання ад іх патомства з пажаданымі прыметамі і ўласцівасцямі.

Экзацытоз — вывядзенне рэчываў, заключаных у мембранную ўпакоўку, з клеткі ў пазаклетачнае асяроддзе.

Эктадэрма — знешні зародкавы лісток жывёл. У пазваночных жывёл з эктадэрмы развіваюцца нервовая сістэма, органы пачуццяў, эпідэрміс скуры з яго залозамі і вытворнымі.

Эндаплазматычная сетка, эндаплазматычны рэтыкулум (ЭПС, ЭПР) — арганоід клеткі — сістэма канальцаў і поласцей, якія пранізваюць гіялаплазму і адмежаваны ад яе адзінарнай мембранай. Адрозніваюць гладкую і шурпатую ЭПС, на мембранах апошняй ёсць рыбасомы. Асноўныя функцыі ЭПС: сінтэз ліпідаў і вугляводаў, накапленне і вывядзенне з клеткі ядавітых рэчываў (гладкая ЭПС); сінтэз бялкоў на прымацаваных рыбасомах, накапленне і пасяванне бялкоў (шурпатая ЭПС).

Эндацытоз — транспарт макрамалекул, іх комплексаў і часцінак унутр клеткі з дапамогай плазмалемы, участкі якой абвалакваюць пазаклетачны матэрыял і заключаюць яго ў мембранную ўпакоўку.

Энергетычны абмен (дысіміляцыя, катабалізм) — расшчапленне складаных арганічных злучэнняў да больш простых рэчываў. Суправаджаецца выдзяленнем (вызваленнем) энергіі хімічных сувязей. Да энергетычнага абмену адносяцца браджэнне і клетачнае дыханне.

Энтадэрма — унутраны зародкавы лісток жывёл. У пазванковых з энтадэрмы развіваюцца органы стрававальнай і дыхальнай сістэм, шчытападобная залоза, плавальны пузыр (у касцявых рыб).

Эўкарыёты — арганізмы, клеткі якіх змяшчаюць аформленае ядро (ядзерныя арганізмы). Эўкарыётамі з’яўляюцца пратысты, грыбы, расліны і жывёлы.

Ядзерка — шчыльнае акруглае цельца ўнутры клетачнага ядра, у якім адбываецца сінтэз рРНК і зборка субадзінак рыбасом.

Ядро — важнейшы кампанент клетак усіх арганізмаў, за выключэннем пракарыёт. Змяшчае ядзерны сок, храмацін, ядзеркі. Аддзелена ад цытаплазмы ядзернай абалонкай. У ядры захоўваецца генетычная інфармацыя, праз сістэму бялковага сінтэзу ядро ўдзельнічае ў кіраванні ўсімі працэсамі жыццядзейнасці клеткі.

Прадметны паказальнік

Імянны паказальнік

Змест

Глава 4
Структурная арганізацыя і рэгуляцыя функцый у жывых арганізмах

Глава 5
Размнажэнне і індывідуальнае развіццё арганізмаў

Глава 6
Спадчыннасць і зменлівасць арганізмаў

Глава 7
Селекцыя і біятэхналогія

(Назва і нумар установы адукацыі)

Навучальны год	Імя і прозвішча навучэнца	Стан падручніка пры атрыманні	Ацэнка навучэнцу за карыстанне падручнікам
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			

Вучэбнае выданне

Лісаў Мікалай Дзмітрыевіч
Шэвярдоў Уладзімір Уладзіміравіч
Ганчарэнка Рыгор Рыгоравіч
Дашкоў Максім Леанідавіч

БІЯЛОГІЯ

Падручнік для 10 класа
ўстаноў агульнай сярэдняй адукацыі
з беларускай мовай навучання

3-е выданне, перапрацаванае

Заг. рэдакцыі *В. Г. Бехціна*. Рэдактар *А. У. Ліцвіновіч*. Афармленне *А. С. Хацеева*. Мастацкі рэдактар *А. П. Пратасеня*. Тэхнічнае рэдагаванне і камп'ютарная вёрстка *І. І. Драздовай, І. І. Дуброўскай*. Карэктары *В. С. Бабеня, А. П. Тхір, Г. В. Алешка*.

Падпісана ў друк 23.04.2014. Фармат 70 × 90$^{1}/_{16}$. Папера афсетная. Гарнітура літаратурная. Друк афсетны. Ум. друк. арк. 19,9. Ул.-выд. арк. 17,0. Тыраж 16 000 экз. Заказ .

Выдавецкае рэспубліканскае ўнітарнае прадпрыемства «Народная асвета» Міністэрства інфармацыі Рэспублікі Беларусь.
Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 1/2 ад 08.07.2013.
Пр. Пераможцаў, 11, 220004, Мінск.

ААТ«Паліграфкамбінат імя Я. Коласа».
Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 2/3 ад 04.10.2013.
Вул. Каржанеўскага, 20, 220024, Мінск.